CASSIRER * ZUR EINSTEIN'SCHEN RELATIVITÄTSTHEORIE

N. W.

ZUR

EINSTEIN'SCHEN RELATIVITÄTSTHEORIE

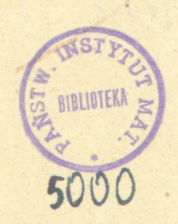
ERKENNTNISTHEORETISCHE BETRACHTUNGEN

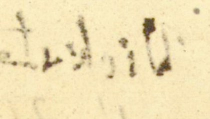
VON

ERNST CASSIRER

*

BERLIN 1921
BRUNO CASSIRER VERLAG


PAŃSTW. INSTYTUT MAT.
BIBLIOTEKA
5000



INHALT.

VORWORT.

Die folgende Schrift erhebt nicht den Anspruch, die philosophischen Probleme, die durch die Relativitätstheorie aufgeworfen werden, zur vollständigen Darstellung zu bringen. Ich bin mir bewußt, daß die neuen Aufgaben, vor welche auch die allgemeine Erkenntniskritik durch diese Theorie gestellt worden ist, nur in allmählicher gemeinsamer Arbeit der Physiker und Philosophen bewältigt werden können; hier lag mir lediglich daran, einen Anfang dieser Arbeit zu versuchen, die Diskussion anzuregen und sie, wenn möglich, gegenüber der heut noch herrschenden Unsicherheit der Beurteilung, in bestimmte methodische Bahnen zu lenken. Das Ziel dieser Schrift wäre erreicht, wenn es ihr gelänge, in Fragen, über welche das Urteil der Philosophen und der Physiker noch weit auseinandergeht, eine wechselseitige Verständigung zwischen beiden anzubahnen. Daß ich auch in den rein erkenntnistheoretischen Erörterungen bemüht war, mich in nächster Berührung mit der wissenschaftlichen Physik selbst zu halten und daß die Schriften der führenden Physiker der Vergangenheit und Gegenwart die gedankliche Orientierung der folgenden Untersuchung überall wesentlich mitbestimmt haben, wird man der Darstellung entnehmen. Das Literaturverzeichnis am Ende der Schrift macht jedoch auf sachliche Vollständigkeit keinen Anspruch: es sind in ihm nur solche Werke angeführt, die im Verlauf der Darstellung wiederholt herangezogen und eingehender berücksichtigt worden sind.

Albert Einstein hat den folgenden Aufsatz im Manuskript gelesen und ihn durch einzelne kritische Bemerkungen, die er an die Lektüre geknüpft hat, gefördert: ich kann diese Schrift nicht hinausgehen lassen, ohne ihm dafür auch an dieser Stelle meinen herzlichen Dank auszusprechen.

Hamburg, 9. August 1920.

Ernst Cassirer.

I.

MASSBEGRIFFE UND DINGBEGRIFFE.

„Der Gebrauch, den man in der Weltweisheit von der Mathematik machen kann“ — so schrieb Kant im Jahre 1763 in der Vorrede zu dem „Versuch, den Begriff der negativen Größen in die Weltweisheit einzuführen“ — „bestehet entweder in der Nachahmung ihrer Methode oder in der wirklichen Anwendung ihrer Sätze auf die Gegenstände der Philosophie. Man sieht nicht, daß der erstere bis dato von einigem Nutzen gewesen sei, so großen Vorteil man sich auch anfänglich davon versprach. Der zweite Gebrauch ist dagegen für die Teile der Weltweisheit, die er betroffen hat, desto vorteilhafter geworden, welche dadurch, daß sie die Lehren der Mathematik in ihren Nutzen verwandten, sich zu einer Höhe geschwungen haben, darauf sie sonsten keinen Anspruch hätten machen können. Es sind dieses aber auch nur die zur Naturlehre gehörigen Einsichten ... Was die Metaphysik anlangt, so hat diese Wissenschaft, anstatt sich einige von den Begriffen oder Lehren der Mathematik zunutze zu machen, vielmehr sich öfters wider sie bewaffnet und, wo sie vielleicht sichere Grundlagen hätte entlehnen können, um ihre Betrachtungen darauf zu gründen, siehet man sie bemüht, aus den Begriffen des Mathematikers nichts als feine Erdichtungen zu machen, die außer seinem Felde wenig Wahres an sich haben. Man kann leicht erraten, auf welcher Seite der Vorteil sein werde in dem Streite zweier Wissenschaften, deren die eine alle insgesamt an Gewißheit und Deutlichkeit übertrifft, die andere aber sich allererst bestrebt, dazu zu gelangen. Die Metaphysik sucht z. E. die Natur des Raumes und den obersten Grund zu finden, daraus sich dessen Möglichkeit verstehen läßt. Nun kann wohl hiezu nichts behilflicher sein, als wenn man zuverlässig erwiesene Data irgendwoher entlehnen kann, um sie seiner Betrachtung zum Grunde zu legen. Die Geometrie liefert deren einige, welche die allgemeinsten Eigenschaften des

Raumes betreffen, z. B. daß der Raum gar nicht aus einfachen Teilen bestehe; allein man gehet sie vorbei und setzet sein Zutrauen lediglich auf das zweideutige Bewußtsein dieses Begriffes, indem man ihn auf eine ganz abstrakte Art denket. . . . Die mathematische Betrachtung der Bewegung, verbunden mit der Erkenntnis des Raumes, geben gleicher Gestalt viel Data an die Hand, um die metaphysische Betrachtung von der Zeit in dem Gleise der Wahrheit zu erhalten. Der berühmte Herr Euler hat hiezu unter andern einige Veranlassung gegeben, allein es scheint bequemer, sich in finstern und schwer zu prüfenden Abstraktionen aufzuhalten, als mit einer Wissenschaft in Verbindung zu treten, welche nur an verständlichen und augenscheinlichen Einsichten teilnimmt."

Die Eulersche Abhandlung, auf die Kant den Metaphysiker hier verweist, sind seine »Réflexions sur l'espace et le temps«, die im Jahre 1748 in den Schriften der Berliner Akademie der Wissenschaften erschienen sind. Diese Abhandlung entwirft in der Tat nicht nur ein Programm des Aufbaus der Mechanik, sondern ein allgemeines Programm der Erkenntnistheorie der Naturwissenschaften. Sie sucht den Wahrheitsbegriff der mathematischen Physik zu bestimmen und ihn dem Wahrheitsbegriff der Metaphysik gegenüberzustellen. In materialer Hinsicht aber ruht die Betrachtung Eulers gänzlich auf den Grundlagen, auf denen Newton das klassische System der Mechanik errichtet hatte. Newtons Begriffe des absoluten Raumes und der absoluten Zeit sollen hier nicht nur als notwendige Grundbegriffe der mathematisch-naturwissenschaftlichen Erkenntnis, sondern als echte physikalische Realitäten erwiesen werden. Diese Realitäten aus philosophischen, aus allgemein erkenntnistheoretischen Gründen zu bestreiten und zu leugnen, hieße — wie Euler ausführt — zugleich die Fundamentalgesetze der Dynamik — vor allem das Trägheitsgesetz — um jegliche physikalische Bedeutung bringen. In einer solchen Alternative aber kann die Entscheidung nicht fraglich sein: der Philosoph hat seine Bedenken gegen die „Möglichkeit" eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit zurückzustellen, sobald die Wirklichkeit beider sich als unmittelbare Folgerung aus der Geltung der Grundgesetze der Bewegung nachweisen läßt. Was diese Gesetze f o r d e r n, das „ist" auch — und es ist, es existiert in dem höchsten Sinne und dem höchsten Maße von Objektivität, die für unsere Erkenntnis überhaupt erreichbar sind. Denn vor

der Wirklichkeit der Natur, wie sie sich in der Bewegung und ihren empirischen Gesetzen darstellt, muß jeder logische Zweifel verstummen; es ist Sache des Denkens, sich dem Sein der Bewegung und ihrer Grundregeln zu bequemen, statt aus abstrakten Erwägungen darüber, was sich begreifen oder nicht begreifen lasse, der Natur selbst Vorschriften machen zu wollen. —

Aber so einleuchtend diese Forderung erscheint und so fruchtbar sich die methodische Anregung Eulers in der Entwicklungsgeschichte der Kantischen Fragestellung erwiesen hat[1] — so problematisch wird sie, sobald wir sie vom Standpunkt der modernen Physik und der modernen Erkenntnistheorie betrachten. Wenn Kant in Newtons Grundwerk, in den »Philosophiae naturalis principia mathematica« gleichsam einen festen Codex der physikalischen „Wahrheit" zu besitzen und wenn er in dem „Faktum" der mathematischen Naturwissenschaft, das sich ihm hier darbot, auch die philosophische Erkenntnis endgültig befestigen zu können glaubte: so hat sich das Verhältnis, das er zwischen Philosophie und exakter Wissenschaft annahm, seither von Grund aus geändert. Immer klarer, immer zwingender kommt uns heute zum Bewußtsein, daß der Archimedische Punkt, auf den er sich stützte und von dem aus er es unternahm, das Gesamtsystem der Erkenntnis aus den Angeln zu heben, keinen unbedingt festen Halt mehr gewährt. Das Faktum der Geometrie hat seine eindeutige Bestimmtheit eingebüßt: statt der e i n e n Geometrie Euklids sehen wir uns heute einer Mehrheit gleichberechtigter geometrischer Systeme gegenüber, die alle die gleiche Denknotwendigkeit für sich in Anspruch nehmen und die, wie das Beispiel der allgemeinen Relativitätstheorie zu zeigen scheint, bald auch in ihren Anwendungen, in ihrer Fruchtbarkeit für die Physik mit dem System der klassischen Geometrie werden wetteifern können. Und eine noch stärkere Umbildung hat das System der klassischen Mechanik erfahren, seitdem in der neueren Physik die „mechanische" Weltansicht mehr und mehr durch die elektrodynamische verdrängt und ersetzt worden ist. Die Gesetze, die Newton und Euler als den völlig gesicherten und unerschütterlichen Besitz der physikalischen Erkenntnis ansahen: — jene Gesetze, in denen sie den B e g r i f f der Körperwelt, der Materie und Bewegung, kurz der Natur selbst definiert glaubten: — sie erscheinen uns heute nur noch als Abstraktionen,

[1] Näheres über Euler und Kants Verhältnis zu ihm s. Erkenntnisproblem [7], II, 472 ff., 698, 703 f.

durch die wir im günstigsten Falle einen bestimmten Bezirk, ein fest begrenztes Teilgebiet des Seins beherrschen und in erster Annäherung theoretisch beschreiben können. Und wenden wir uns mit der alten philosophischen Grundfrage nach dem „Wesen" von Raum und Zeit an die heutige Physik: — so erhalten wir von ihr die genau entgegengesetzte Antwort, als Euler sie vor 150 Jahren erteilte. Newtons Begriffe des absoluten Raumes und der absoluten Zeit mögen unter den „Philosophen" noch manche Anhänger zählen, aber aus der methodischen und empirischen Grundlegung der Physik scheinen sie endgültig ausgemerzt zu sein. Die allgemeine Relativitätstheorie scheint hierin nur der letzte konsequente Abschluß einer gedanklichen Bewegung zu sein, die ihre entscheidenden Antriebe gleich sehr durch erkenntnistheoretische, wie durch physikalische Erwägungen erhielt.

Das Zusammenwirken beider Gesichtspunkte ist in der Entwicklung der theoretischen Physik gerade an den entscheidenden Wendepunkten immer mit besonderer Deutlichkeit zu Tage getreten. Ein Blick auf die Geschichte der Physik lehrt, daß gerade ihre wichtigsten prinzipiellen Errungenschaften mit Betrachtungen allgemein erkenntnistheoretischer Natur in engstem Zusammenhang zu stehen pflegten. Galileis „Dialoge über die beiden Weltsysteme" sind von solchen Betrachtungen ganz erfüllt — und seinen Aristotelischen Gegnern konnte Galilei das Wort entgegenhalten, daß er mehr Jahre auf das Studium der Philosophie, als Monate auf das Studium der Physik verwandt habe. Kepler legt den Grund zu seiner Schrift über die Marsbewegung und zu seinem Hauptwerk über die Weltharmonie in seiner »Apologie für Tycho«, in der er eine vollständige, rein methodisch gerichtete Darstellung der Hypothese und ihrer verschiedenen Grundformen gibt: eine Darstellung, durch die er den modernen Begriff der physikalischen Theorie erst eigentlich geschaffen und mit einem bestimmten konkreten Gehalt erfüllt hat. Auch Newton kommt mitten in den Betrachtungen über das Weltgebäude auf die allgemeinsten Grundnormen der physikalischen Erkenntnis, auf die «Regulae philosophandi» zurück. In neuerer Zeit hat sodann Helmholtz seine Schrift „über die Erhaltung der Kraft" (1847) mit Erwägungen über das Kausalprinzip als die allgemeine Grundvoraussetzung für jede „Begreiflichkeit der Natur" eingeleitet — und Heinrich Hertz spricht es im Vorwort zu seinen „Prinzipien der Mechanik" (1894) ausdrücklich aus, daß dasjenige, was in dem Werke neu

sei und worauf er einzig Wert lege, „die Anordnung und Zusammenstellung des Ganzen, also die logische, oder, wenn man will, die philosophische Seite des Gegenstandes" sei[1]. Aber alle diese großen geschichtlichen Beispiele für den inneren sachlichen Zusammenhang zwischen erkenntnistheoretischer und physikalischer Problemstellung werden fast noch überboten durch die Art, in der sich dieser Zusammenhang in der Grundlegung der Relativitätstheorie erwiesen und bewährt hat. Einstein selbst hat sich — insbesondere um den Übergang von der speziellen zur allgemeinen Relativitätstheorie zu rechtfertigen — in erster Linie auf ein erkenntnistheoretisches Motiv gestützt, dem er neben den rein empirisch-physikalischen Gründen eine entscheidende Bedeutung einräumt[2]. Und schon die spezielle Relativitätstheorie stand an einem Punkte, an dem ihr Vorrang gegenüber anderen Erklärungen, wie der Lorentzschen Kontraktionshypothese, sich nicht sowohl in ihrer empirischen Materie, als in ihrer reinen logischen Form, nicht sowohl in ihrem physikalischen, als in ihrem allgemein systematischen Wert als begründet erwies[3]. Auch in dieser Hinsicht gilt der Vergleich, den Planck zwischen der Relativitätstheorie und der Kopernikanischen kosmologischen Reform gezogen hat[4]. Auch die Kopernikanische Ansicht konnte zur Zeit, da sie auftrat, keine einzelne neue „Tatsache" aufweisen, durch die sie schlechterdings mit Ausschluß aller früheren astronomischen Erklärungen gefordert gewesen wäre — sondern ihr Wert und ihre eigentliche Beweiskraft lag in der prinzipiellen und systematischen Klarheit, die sich mit ihr über das Ganze der Naturerkenntnis verbreitete. In gleicher Weise greift auch die Relativitätstheorie, indem sie von einer Kritik des Zeitbegriffs ihren Ausgang nimmt, nicht erst in ihren Anwendungen und Folgerungen, sondern schon in ihrem ersten Ansatz in das Gebiet der erkenntnistheoretischen Fragestellungen ein. Daß die Wissenschaften — insbesondere die Mathematik und die exakten Naturwissenschaften — der Erkenntniskritik das wesentliche Material darzubieten haben, ist eine seit Kant kaum mehr bestrittene Einsicht: — hier aber wird dieses Material der Philosophie zugleich in einer Form dargeboten, die schon von selbst eine bestimmte erkenntnistheoretische Deutung und Bearbeitung in sich schließt.

[1] Vgl. Helmholtz [*29*, S. 4]; H. Hertz [*31*, S. XXVII].
[2] S. Einstein [*17*, S. 8].
[3] Näheres hierzu siehe unten Nr. II.
[4] Vgl. Planck [*68*], S. 117 f.

So stellt die Relativitätstheorie, gegenüber dem klassischen System der Mechanik, ein neues wissenschaftliches Problem auf, vor welchem auch die kritische Philosophie sich von neuem zu prüfen hat. Wenn Kant — wie Hermann Cohens Kant-Schriften es immer wieder betont und nach allen Seiten hin beleuchtet und erwiesen haben — nichts anderes als der philosophische Systematiker der Newton'schen Naturwissenschaft sein wollte: — wird dann nicht auch seine Lehre notwendig in das Schicksal der Newton'schen Physik verstrickt und müssen nicht alle Änderungen, die sie erleidet, auch unmittelbar auf die Gestaltung der Grundlehren der kritischen Philosophie zurückwirken? Oder bieten die Lehren der transzendentalen Ästhetik ein Fundament dar, das breit und stark genug ist, wie das Gebäude der Newton'schen Mechanik, so auch das der modernen Physik zu tragen? Von der Beantwortung dieser Frage wird die zukünftige Entwicklung der Erkenntniskritik abhängen. Erwiese es sich, daß die neueren physikalischen Anschauungen über Raum und Zeit schließlich ebensoweit über Kant, wie über Newton hinausführten: dann wäre der Zeitpunkt gekommen, an dem wir, auf Grund der Kantischen Voraussetzungen über Kant fortzuschreiten hätten. Denn was die Kritik der reinen Vernunft erstrebte, war nicht, die philosophische Erkenntnis ein für allemal auf ein bestimmtes dogmatisches System von Begriffen festzulegen, sondern ihr den „stetigen Gang einer Wissenschaft“ zu eröffnen, in dem es selbst immer nur relative, nicht absolute Halt- und Ruhepunkte geben kann.

Aber freilich muß die Erkenntnistheorie, so eng sich ihr eigenes Schicksal hier mit dem Fortgang der exakten Wissenschaft verknüpft erweist, den Aufgaben, die ihr von dieser gestellt werden, mit voller methodischer Selbständigkeit gegenübertreten. Sie steht zur Physik in ebendemselben Verhältnis, in welchem, nach der Kantischen Schilderung, der „Verstand“ zur Erfahrung und zur Natur steht: sie tritt an sie heran, „zwar um von ihr belehrt zu werden, aber nicht in der Qualität eines Schülers, der sich alles vorsagen läßt, was der Lehrer will, sondern eines bestallten Richters, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt“. Jede Antwort, die die Physik über den Charakter und die besondere Eigenart ihrer Grundbegriffe erteilt, nimmt in der Tat für die Erkenntnistheorie unwillkürlich wieder die Form der Frage an. Wenn z. B. Einstein es als das wesentliche Ergebnis seiner Theorie bezeichnet, daß durch sie dem Raume und der

Zeit „der letzte Rest physikalischer Gegenständlichkeit" genommen werde [*17*, S. 13] — so enthält diese Antwort des Physikers für den Erkenntnistheoretiker erst die präzise Fassung seines eigentlichen Grundproblems. Was sollen wir unter der physikalischen Gegenständlichkeit verstehen, die hier den Begriffen von Raum und Zeit bestritten wird? Dem Physiker mag sie als der feste und sichere Ausgangspunkt und als ein völlig bestimmter Vergleichspunkt erscheinen: — die Erkenntnistheorie muß fordern, daß ihr Sinn, daß das, was methodisch durch sie gemeint und ausgedrückt sein soll, zuvor eindeutig d e f i n i e r t sei. Denn die erkenntnistheoretische Besinnung führt uns überall zu der Einsicht, daß dasjenige, was die verschiedenen Wissenschaften den „Gegenstand" nennen, kein ein für allemal Feststehendes, an sich Gegebenes ist, sondern daß es durch den jeweiligen Gesichtspunkt der Erkenntnis erst bestimmt wird. Je nach dem Wechsel dieses ideellen Gesichtspunktes entstehen für das Denken verschiedene Klassen und verschiedene Systeme von Objekten. Immer gilt es daher in demjenigen, was die einzelnen Wissenschaften uns als ihre Objekte und „Dinge" darbieten, die spezifischen logischen Bedingungen wiederzuerkennen, auf Grund deren sie festgestellt worden sind. Jede Wissenschaft h a t ihren Gegenstand nur dadurch, daß sie ihn aus der gleichförmigen Masse des Gegebenen durch bestimmte Formbegriffe, die ihr eigentümlich sind, h e r a u s h e b t. Der Gegenstand der Mathematik ist ein anderer als der der Mechanik — der Gegenstand der abstrakten Mechanik ein anderer als der der Physik u. s. f., — weil und sofern in all diesen Wissenschaften verschiedene Fragen der Erkenntnis, verschiedene Arten, das Mannigfaltige auf eine Einheit des Begriffs zu beziehen und durch sie zu ordnen und zu beherrschen, enthalten sind. So bestimmt sich der Inhalt jedes besonderen Gebiets der Erkenntnis durch die charakteristische Urteils- und Frageform, von der die Erkenntnis ausgeht. In dieser erst grenzen sich die besonderen Gebietsaxiome ab, durch welche sich die Wissenschaften von einander unterscheiden. Versucht man, von diesem Standpunkt aus, eine scharfe Erklärung des Begriffs der „physikalischen Gegenständlichkeit" zu gewinnen, so sieht man sich hierbei zunächst auf eine negative Bestimmung geführt. Was immer diese Gegenständlichkeit bedeuten mag, in keinem Falle kann sie mit dem zusammenfallen, was die naive Weltansicht als die Wirklichkeit i h r e r Dinge, als die Wirklichkeit der sinnlichen Wahrnehmungsobjekte anzusehen pflegt. Denn von d i e s e r

Wirklichkeit sind die Objekte, von denen die wissenschaftliche Physik handelt, und für die sie ihre Gesetze aufstellt, schon durch ihre allgemeine Grundform geschieden. Daß Begriffe, wie die der Masse und der Kraft, des Atoms oder des Äthers, des magnetischen oder elektrischen Potentials, ja Begriffe wie die des Drucks oder der Temperatur, keine einfachen Dingbegriffe, keine Nachbildungen konkreter in der Wahrnehmung gegebener Einzelinhalte sind: das bedarf nach allem, was die Erkenntnistheorie der Physik selbst über den Sinn und Ursprung dieser Begriffe festgestellt hat, kaum der Erörterung mehr. Was wir in ihnen besitzen, sind ersichtlich nicht Reproduktionen einfacher Ding- oder Empfindungsinhalte, sondern theoretische Setzungen und Konstruktionen, die darauf gerichtet sind, das bloß Empfindbare in ein Meßbares und damit erst in einen „Gegenstand der Physik", d. h. in einen solchen für die Physik zu verwandeln. Plancks knappe Formulierung des physikalischen Gegenstandskriteriums, das er in den Satz zusammenfaßt, daß alles, was man messen kann, auch existiere, mag vom Standpunkt der Physik selbst völlig ausreichend erscheinen: vom Standpunkt der Erkenntnistheorie schließt sie nur erst die Aufforderung in sich, die grundlegenden Bedingungen eben dieser Meßbarkeit selbst aufzudecken und in systematischer Vollständigkeit zu entwickeln. Denn jede, auch die einfachste Messung, muß sich auf bestimmte theoretische Voraussetzungen, auf gewisse „Prinzipien", „Hypothesen" oder „Axiome" stützen, die sie nicht der Welt des Empfindbaren entnehmen, sondern die sie als Postulate des Denkens an diese Welt heranbringen muß. In diesem Sinne steht die Wirklichkeit des Physikers der Wirklichkeit der unmittelbaren Wahrnehmung als ein durch und durch Vermitteltes gegenüber: als ein Inbegriff, nicht von daseienden Dingen oder Eigenschaften, sondern von abstrakten Gedankensymbolen, die als Ausdruck für bestimmte Größen- und Maßverhältnisse, für bestimmte funktionale Zuordnungen und Abhängigkeiten der Erscheinungen dienen. Gehen wir von dieser allgemeinen Einsicht aus — die innerhalb der Physik selbst vor allem durch Duhems Analyse der physikalischen Begriffsbildung in das hellste Licht gerückt worden ist — so gewinnt damit das Problem der Relativitätstheorie erst seine volle logische Schärfe. Daß von dieser Theorie dem Raume und der Zeit die physikalische Gegenständlichkeit abgesprochen wird, das muß, wie sich jetzt zeigt, etwas anderes und etwas Tieferes bedeuten, als die Erkenntnis, daß beide

nicht *Dinge* im Sinne des „naiven Realismus“ sind. Denn Dinge dieser Art müssen wir schon an der Schwelle der exakten wissenschaftlichen Physik, schon bei der Formulierung ihrer ersten Urteile und Sätze, hinter uns gelassen haben. Die Bestimmung, keine Dingbegriffe, sondern reine Maßbegriffe zu sein, teilen Raum und Zeit mit allen anderen echten physikalischen Gegenstandsbegriffen: — wenn ihnen dennoch auch diesen gegenüber noch eine logische Sonderstellung zukommen soll, so wird gezeigt werden müssen, daß sie sich in der gleichen Richtung, wie diese, aber noch um einen Schritt weiter von den gewöhnlichen Dingbegriffen entfernen, daß sie also gewissermaßen Maßbegriffe und Maßformen von höherer als der ersten Ordnung darstellen. —

Schon in den ersten Erwägungen, von denen die Relativitätstheorie ausgeht, tritt in der Tat hervor, daß auch der Physiker als solcher niemals ausschließlich das gemessene Objekt selbst, sondern immer zugleich die besonderen Bedingungen der Messung ins Auge zu fassen hat. Die Theorie unterscheidet die physikalischen Bestimmungen und Urteile, die sich bei der Messung von ruhenden und bewegten Bezugssystemen aus ergeben, und sie betont, daß bevor Bestimmungen, die von verschiedenen Bezugssystemen aus gewonnen worden sind, miteinander verglichen werden können, zunächst ein allgemeines methodisches *Prinzip* der Umsetzung und Umrechnung gegeben sein müsse. Jeder objektiven Messung muß gleichsam noch ein bestimmter subjektiver Index hinzugefügt werden, der ihre besonderen Bedingungen kenntlich macht — und erst wenn dies geschehen, kann sie im wissenschaftlichen Aufbau des Gesamtbildes der Wirklichkeit, in der Bestimmung der Naturgesetze, neben anderen gebraucht und mit ihnen zu einem einheitlichen Ergebnis zusammengefaßt werden. Was mit dieser Reflexion auf die Voraussetzungen und Bedingungen der physikalischen Messung auch in rein erkenntnistheoretischer Hinsicht gewonnen und geleistet ist: das ergibt sich sofort, wenn man sich der Konflikte erinnert, die sich im Verlauf der Geschichte der Philosophie und der Geschichte der exakten Wissenschaft, aus dem Mangel eben dieser Reflexion immer von neuem ergeben haben. Fast schien es das unvermeidliche Schicksal der naturwissenschaftlichen Weltbetrachtung zu sein, daß jeder neue und fruchtbare Maßbegriff, den sie errang und für sich feststellte, sich ihr alsbald wieder in einen Dingbegriff verwandelte. Immer wieder glaubte sie der Wahrheit und des Sinns der physikalischen Größenbegriffe

nur dadurch gewiß und sicher zu sein, daß sie ihnen bestimmte absolute Wirklichkeiten entsprechen ließ. Jede schöpferische Epoche der Physik findet und formuliert neue charakteristische Maße für die Gesamtheit des Seins und Geschehens — aber jede steht zugleich in Gefahr, in diesen doch immer nur vorläufigen und relativen Maßen, in diesen jeweilig letzten gedanklichen Instrumenten der Messung den abschließenden Ausdruck des ontologisch Realen zu sehen. Die Geschichte des Begriffs der Materie, die Geschichte des Atombegriffs, des Begriffs des Äthers und der Energie liefert hierfür die typischen Beweise und Belege. Aller Materialismus — und es gibt einen Materialismus nicht nur der eigentlichen „Materie", sondern auch der Kraft, der Energie, des Äthers u. s. f. — geht, erkenntnistheoretisch betrachtet, auf dieses eine Motiv zurück. Den letzten Konstanten der physikalischen Rechnung soll nicht nur der Wert eines Wirklichen zukommen, sondern sie sollen zuletzt zum Rang des allein Wirklichen erhoben werden. Selbst der Fortgang und die Entwicklung der idealistischen Philosophie vermag sich diesem Motiv nicht zu entziehen. Descartes wird als idealistischer Mathematiker zugleich der Begründer der „mechanischen Weltansicht". Weil nur die Ausdehnung uns exakte und deutliche Begriffe liefert und weil alle begrifflich klar erfaßte und erkannte Wahrheit auch Wahrheit vom Seienden ist — darum können und müssen nach ihm auch Mathematik und Natur, darum muß das System der Maßbestimmungen und der Inbegriff des stofflich-physischen Daseins in Eins aufgehen. Wie der gleiche Schritt vom logisch-mathematischen zum ontologischen Begriff sich in der Entwicklung der modernen Energetik wiederholt hat, ist bekannt. Auch hier wurde die Energie, nachdem sie einmal als fundamentales Maß entdeckt war, als ein Maß, das nicht auf die Bewegungserscheinungen eingeschränkt ist, sondern alle physikalischen Gebiete gleichmäßig umspannt, alsbald wieder zu einer allbefassenden Substanz erhoben, die mit der „Materie" wetteiferte, um sie schließlich ganz in sich aufzunehmen und zu absorbieren. Aber im Ganzen handelte es sich hierbei freilich nur um einen metaphysischen Neben- und Seitenweg, der die Wissenschaft selbst von ihrer sicheren methodischen Richtung nicht abgelenkt hat. Denn der Energiebegriff gehört, schon seiner ersten Konzeption nach, jener allgemeinen Richtung des physikalischen Denkens an, die man im Gegensatz zur Physik der Bilder und der mechanischen Modelle als „Physik der Prinzipien" be-

zeichnet hat. Die Formulierung eines „Prinzips" aber bezieht sich niemals unmittelbar auf Dinge und Dingverhältnisse, sondern sie will eine allgemeine Regel für komplexe funktionale Abhängigkeiten und ihren gegenseitigen Zusammenhang aufstellen. Diese Regel erweist sich jetzt als das eigentlich Dauernde und Substantielle: der erkenntnistheoretische, wie der physikalische Wert der Energetik zeigt sich nicht in der neuen Sachvorstellung begründet, die sie an Stelle der alten Begriffe von „Materie" und „Kraft" setzt, sondern in der Gewinnung der Äquivalenzzahlen, die von Robert Mayer ausdrücklich als die „Fundamente einer exakten Naturforschung" gefordert und gefunden worden sind (vgl. 52, S. 145, 237 ff.).

Schon an diesen beiden Beispielen kann man sich vergegenwärtigen, daß sich durch die gesamte Geschichte der Physik eine bestimmte geistige Bewegung hindurchzieht, die der Bewegung, die in der erkenntnistheoretischen Betrachtung zwischen „Subjekt" und „Objekt" der Erkenntnis vermittelt und hin- und hergeht, durchaus parallel verläuft. Immer handelt es sich für die physikalische Auffassung darum, zunächst einen charakteristischen Gesichtspunkt der Messung in einem objektiv-physikalischen Begriff, in einer bestimmten Naturkonstante, zu fixieren, — dann aber im weiteren Verlauf das konstruktive Moment, das in jeder solchen Setzung einer ursprünglichen Konstante liegt, klarer und klarer zu durchschauen und sich seiner Bedingtheit bewußt zu werden. Denn alle Konstanten, wie immer sie im einzelnen beschaffen sein mögen, werden nicht unmittelbar gegeben, sondern sie müssen zuvor gedacht und gesucht sein, ehe sie in der Erfahrung gefunden werden können. Eines der prägnantesten Beispiele hierfür steht in der Geschichte des Atombegriffs vor uns. Die Atome werden von Demokrit als letzte Konstanten der Natur gefordert, lange bevor sich für das Denken irgend ein Weg zur konkreten Erfüllung dieser Forderung zeigt. Im Grunde wird eine solche Erfüllung, wird ein streng exakter quantitativer Sinn des Atombegriffs erst mit den Anfängen der modernen Chemie im Gesetz der multiplen Proportionen erreicht. In dem Maße aber, als neben diese besondere Ausprägung des Atombegriffs nunmehr andere und andere treten und er schließlich die verschiedenartigsten sachlichen Gebiete beherrscht und gedanklich organisiert, tritt auch sein reiner Prinzipiencharakter, der anfangs mit seinem Sachcharakter noch unterschiedslos verschmolz, immer be-

stimmter zu Tage. Der Inhalt der Atomvorstellung wandelt sich und rückt im Lauf der Entwicklung der Physik und Chemie von Ort zu Ort, — aber die Funktion des Atoms, als einer jeweilig letzten Maßeinheit, beharrt. Wenn wir von der Betrachtung der „ponderablen“ Materie zur Betrachtung des Äthers übergehen, wenn wir eine Einheit suchen, die nicht nur die mechanischen, sondern auch die optischen und elektromagnetischen Phänomene umfaßt, — dann gestaltet sich für uns das Atom der Materie zum Atom der Elektrizität, zum Elektron. In der neueren Physik tritt ferner mit der Planckschen Quantentheorie der Gedanke einer atomistischen Struktur nicht nur der Materie, sondern auch der Energie hervor. Es wäre ein vergebliches Bemühen, wollte man versuchen, alle diese verschiedenen Anwendungen, die der Atomgedanke in der Chemie, in der kinetischen Gastheorie, in der Lehre von der Licht- und Wärmestrahlung u. s. f. erfahren hat, zu einem einheitlichen Bilde zusammenzufassen. Aber die Einheit seiner Bedeutung bedarf und fordert auch keine solche Bildeinheit; sie ist zur Genüge, ja in einem weit strengeren logischen Sinne gewahrt, wenn sich herausstellt, daß hier überall eine gemeinsame Beziehung, eine eigentümliche „Form“ des Zusammenhangs, obwaltet, die sich als solche an den verschiedenartigsten Inhalten bewähren und darstellen kann. Das Atom erweist sich eben darin nicht als ein absolutes Minimum des Seins, sondern als ein relatives Minimum des Maßes. Es ist einer der Begründer der neueren Philosophie, Nicolaus Cusanus, gewesen, der diese seine Aufgabe und Funktion, die es erst in der Geschichte der Naturwissenschaft wahrhaft erfüllen sollte, mit echtem spekulativem Tiefsinn vorausgesehen und verkündet hat. Cusas Grundlehre vom Unendlichen und von der Einheit der Gegensätze im Unendlichen ruht ganz auf dieser Einsicht in die prinzipielle Relativität aller Größenbestimmung: — auf der Koinzidenz des „Größten“ und „Kleinsten“ (vgl. 7, 1, 40 ff., 265 ff.). Die moderne Erkenntniskritik kann die Rätsel, mit denen Cusas Lehre vom Minimum ringt, in einem einfachen Grundgedanken zusammenfassen. Der Widerspruch tritt nur ein, wenn wir alle die verschiedenen Formen, die der Gedanke des „Kleinsten“, der Gedanke der letzten unteilbaren Maßeinheit in den verschiedenen Gebieten der Betrachtung annimmt, dinglich in eins zu fassen versuchen; aber er verschwindet sogleich, wenn wir uns darauf besinnen, daß die wahre Einheit niemals in den Dingen als solchen, sondern in den gedanklichen Setzungen

zu suchen ist, die wir je nach der Besonderheit des Gebiets, das es auszumessen und zu bestimmen gilt, wählen und die daher prinzipiell einer unbegrenzten Variabilität fähig sind. Es ergibt sich hieraus, daß, wie das Gemessene an Zahl unbegrenzt ist, so auch das Messende in unendlich vielen und unendlich verschiedenen Ansätzen bestehen und sich darstellen kann — die Einheit, die wir zu suchen und zu fordern haben, liegt weder in dem einen, noch in dem anderen Glied, sondern lediglich in der Form ihrer wechselseitigen Verknüpfung, d. h. in den logischen Bedingungen der Operation der Messung selbst.

Dieser Zusammenhang erfährt eine neue Bestätigung, wenn wir vom Begriff der Materie, der Energie und des Atoms zu dem eigentlichen Gegenstandsbegriff der modernen Physik, zum Begriff der Bewegung hinüberblicken. Die geschichtlichen Anfänge der modernen Bewegungslehre bei Galilei weisen bereits unmittelbar auf die erkenntnistheoretische Grundfrage hin, die ihre umfassende und abschließende Formulierung in der allgemeinen Relativitätstheorie erhalten hat. Was Galilei mit seinem Relativitätsgedanken erreicht hat, das war die Aufhebung der absoluten Realität des Ortes, und dieser erste Schritt schloß bereits die wichtigsten logischen Folgerungen, schloß den neuen Begriff der Naturgesetzlichkeit überhaupt und die neue Fassung der besonderen Grundgesetze der Dynamik für ihn ein. Galileis Bewegungslehre wurzelt in nichts Geringerem und in nichts Größerem, als in der neuen Wahl des Standorts, von dem aus er die Bewegungserscheinungen im Weltall beurteilt und mißt. Mit dieser Wahl war für ihn zugleich das Trägheitsgesetz und in ihm die eigentliche Grundlage der neuen Naturansicht gegeben. Die antike Anschauung sah in dem Ort eine bestimmte physische Eigenschaft, von der ganz bestimmte physische Wirkungen ausgingen. Das „Hier“ und „Dort“, das „Oben“ und „Unten“ war ihr keine bloße Beziehung; sondern der einzelne Raumpunkt galt als ein selbständiges Reales, das folgerecht auch mit besonderen Kräften ausgestattet war. Im Streben der Körper nach ihren „natürlichen Orten“, im Drang der Luft und des Feuers nach oben und im Sinken der schweren Massen nach unten schienen diese Kräfte als unmittelbar gewisse empirische Wirklichkeiten gegeben. Erst wenn man diese Grundzüge nicht nur der antiken Astronomie und Kosmologie, sondern auch der antiken Physik in Erwägung zieht, begreift man die ganze Kühnheit der neuen gedanklichen Orientierung, die das

Copernikanische Weltsystem ergab. Eine der festesten und sichersten Realitäten, auf die das griechische Denken sein Weltbild erbaut hatte, zerrann jetzt in eine bloße Illusion, in eine rein „subjektive“ Bestimmung. Schon die ersten Anhänger der neuen Lehre haben mit Bezug auf die Lehre vom Ort die entscheidende Konsequenz gezogen. Was z. B. Gilbert der Aristotelischen Physik und Kosmologie entgegenhält, ist vor allem dieses erkenntnistheoretische Moment, ist der Umstand, daß sie die Grenzen des Ideellen und Reellen überall ineinanderlaufen läßt. Durchweg seien in ihr Unterschiede, die nur unserer Betrachtung, die lediglich unserer subjektiven Reflexion angehören, in objektiv-dingliche Gegensätze verkehrt. In Wahrheit aber sei kein Ort in der Natur an sich dem andern entgegengesetzt, sondern es gebe in ihr nur eine Verschiedenheit in der wechselseitigen Lage der Körper und der materiellen Massen. „Nicht der Ort ist es, der in der Natur der Dinge wirkt und schafft, der über die Ruhe und Bewegung der Körper entscheidet. Denn er ist an sich weder ein Sein, noch eine wirkende Ursache, vielmehr bestimmen die Körper sich erst vermöge der Kräfte, die ihnen einwohnen, ihre gegenseitige Stellung und Lage. Der Ort ist ein Nichts; er existiert nicht und übt keine Kraft aus, sondern alle Naturgewalt ist in den Körpern selbst enthalten und begründet“ (7, 1, 360 f.). Darin ist zugleich enthalten, daß das, was wir den „wahren Ort“ eines Körpers nennen, uns niemals als eine unmittelbar sinnlich faßbare Eigenschaft an ihm gegeben, sondern immer erst auf Grund der Rechnung und der „Arithmetik der Kräfte“ im Universum zu ermitteln und festzustellen ist. Alle Ortsbestimmung — so faßt Kepler diese Einsicht, die ihm gleich sehr aus astronomischen Überzeugungen, wie aus seinen Studien zur physiologischen Optik, aus seiner Analyse des allgemeinen Wahrnehmungsproblems erwächst, scharf und prägnant zusammen — ist eine Leistung des Geistes: »omnis locatio mentis est opus« (37, II, 55 vgl. 7, I, 339). Von hier liegt der Weg zu Galileis Grundlegung der Dynamik offen: denn da der Ort aufgehört hat, etwas Reales zu sein, so fällt auch die Frage nach dem Grunde des Ortes eines Körpers und nach dem Grunde seines Verharrens in ein und demselben Ort dahin. Die objektiv-physische Realität überträgt sich von dem Ort auf die Ortsveränderung, auf die Bewegung und die Faktoren, durch die sie als Größe bestimmt wird. Soll eine solche Bestimmung in eindeutiger Weise möglich sein, so muß die Identität und Dauer, die bisher den bloßen Orten zuge-

sprochen wurde, auf die Bewegung übergehen, so muß sie als solche ein „Sein“, d. h. vom Standpunkt des Physikers eine numerische Konstanz besitzen. Diese Forderung der numerischen Konstanz der Bewegung selbst findet ihren Ausdruck und ihre Erfüllung im Trägheitsgesetz. Man erkennt hier von neuem, wie nahe sich auch in Galilei das mathematische Motiv seines Denkens mit einem ontologischen Motiv berührt — wie seine Auffassung und Bestimmung des Seins auf seine Auffassung und Bestimmung des Maßes und umgekehrt diese auf jene zurückwirkt. Das neue Maß, das in der Trägheit und im Begriff der gleichförmigen Beschleunigung entdeckt wird, schließt zugleich eine neue Festsetzung der Realität in sich. Die Trägheitsbewegung erscheint im Gegensatz zu dem bloßen Ort, der unendlich vieldeutig und je nach der Wahl des Bezugssystems verschieden ist, als eine wahrhafte innere Beschaffenheit des Körpers, die ihm „an sich“ und ohne Rücksicht auf ein bestimmtes Vergleichungs- und Maßsystem zukommt. Die Geschwindigkeit eines materiellen Systems ist mehr als ein bloßer Rechenfaktor, sie gehört ihm nicht nur wirklich zu, sondern definiert geradezu erst seine Wirklichkeit, da sie seine lebendige Kraft, d. h. das Maß seiner dynamischen Wirksamkeit bestimmt. In dem Maß der Bewegung, das sie entdeckt und begründet, in dem Differentialquotienten des Weges nach der Zeit, glaubt Galileis Physik nun zugleich zum Kern alles physischen Seins vorgedrungen zu sein, glaubt sie die intensive Realität der Bewegung definiert und erfaßt zu haben. Durch diese Realität unterscheidet sich die dynamische von der bloß phoronomischen Betrachtung. Der Begriff des „Bewegungszustands“, nicht als einer bloßen Vergleichsgröße, sondern als ein dem bewegten System innerlich zukommendes Wesensmoment wird jetzt das eigentliche Kennzeichen und die Charakteristik der physischen Wirklichkeit. Auch Leibniz steht in seiner Grundlegung der Dynamik durchaus auf diesem Standpunkt, der ihm zugleich zum Ausgangspunkt einer neuen Metaphysik der Kräfte wird. Die Bewegung als bloße Ortsveränderung in rein phoronomischem Sinne gefaßt — so erklärt er — bliebe selbst etwas rein Relatives; zum Ausdruck einer eigentlichen, einer physischen wie metaphysischen Realität wird sie erst, indem wir ihr ein inneres dynamisches Prinzip, indem wir ihr die Kraft als „ursprünglich eingepflanztes Prinzip der Dauer und der Veränderung“ (principium mutationis et perseverantiae insitum) hinzufügen (*42*, VI, 100; vgl. *5*, S. 290 ff.). In allen diesen

Beispielen tritt deutlich hervor, wie scharf auf der einen Seite das physikalische Denken der neueren Zeit den Gedanken der Relativität des Orts und der Bewegung erfaßt hat und wie es andererseits dennoch davor zurückschreckt, ihn bis in seine letzten Konsequenzen zu verfolgen. Wenn nicht nur der Ort, sondern auch die Geschwindigkeit eines materiellen Systems eine Größe bedeuten soll, die ganz von der Wahl des Bezugskörpers abhängt und daher unendlich-variabel und unendlich-vieldeutig ist, so scheint überhaupt keine eindeutige Größen- und somit keine eindeutige objektive Zustandsbestimmung eines physisch-Wirklichen mehr möglich zu sein. Die reine Mathematik mag sich, als die ideelle Lehre von der Größenvergleichung und der Größenverknüpfung überhaupt, als ein System bloßer Beziehungen und Funktionen konstituieren und sich immer klarer als solches erkennen, — die Physik aber scheint hier schließlich einmal an eine letzte Grenze, an ein Non plus ultra gelangen zu müssen, wenn sie nicht den Boden der Realität gänzlich unter sich verlieren will.

Die Schwierigkeit aber, die innerhalb des Gesamtaufbaus der klassischen Mechanik in der Formulierung des Trägheitsprinzips zurückbleibt, drückt sich zuletzt in einem erkenntnistheoretischen Zirkel aus, aus dem es für sie kein Entrinnen zu geben scheint. Um den Sinn des Trägheitssatzes zu fassen, bedürfen wir des Begriffs der „gleichen Zeiten" — ein brauchbares physikalisches Maß für gleiche Zeiten aber kann, wie sich auf der anderen Seite ergibt, immer nur gewonnen werden, wenn man das Trägheitsgesetz seinem Inhalt und seiner Geltung nach schon als gegeben voraussetzt. In der Tat pflegt die Mechanik — seit Carl Neumanns bekannter Schrift „über die Prinzipien der Galilei - Newton'schen Theorie" (57), die die moderne Diskussion über das Trägheitsgesetz zuerst in Fluß gebracht hat — „gleiche Zeiten" geradezu als solche zu definieren, innerhalb derer ein sich selbst überlassener Körper gleiche Wegabschnitte zurücklegt. Auch Maxwell faßt in seiner Darstellung der Newtonschen Mechanik das Gesetz der Trägheit als reine Maßdefinition auf. Das erste Gesetz Newtons — so erklärt er scharf und prägnant — sagt aus, unter welchen Bedingungen keine äußere Kraft vorhanden ist (*51*, S. 31). So wird in der Fortbildung der Mechanik der Trägheitssatz immer bestimmter als dasjenige erkannt, was er im Grunde bereits bei Galilei bedeutete. Er gilt jetzt nicht mehr als direkte empirische Beschreibung gegebener Naturvorgänge, sondern als jenes

„Gebietsaxiom", jene grundlegende Hypothese, durch welche sich die neue Wissenschaft der Dynamik eine bestimmte Form der Messung vorschreibt. Die Trägheit erscheint, statt als eine absolute und inhärente Eigenschaft der Dinge und der Körper, vielmehr als die freie Feststellung eines bestimmten Maßstabes und Maßsymboles, kraft dessen allein wir hoffen können, zur einheitlichen systematischen Fassung der Gesetze der Bewegung zu gelangen. Hierin allein wurzelt ihre Realität, d. h. ihre objektiv-physikalische Bedeutung. So scheidet sich auch hier, innerhalb der geschichtlichen Entwicklung der Physik selbst, immer deutlicher das Messende vom Gemessenen, mit dem es zunächst noch zusammenzufallen schien, so trennen sich immer klarer die beobachtbaren Data der Erfahrung von dem, was als Bedingung der Beobachtung und der Größenbestimmung vorausgesetzt und gebraucht werden muß.

Und was sich hier an einem einzelnen Beispiel und innerhalb eines engeren Bereichs erweist: das wiederholt sich näher betrachtet, in allen Einzelgebieten der Physik. Immer muß das physikalische Denken, ehe es an die Beobachtung herantritt, für sich selbst zuvor die eigenen Normen der Messung bestimmt haben. Es muß ein bestimmter Gesichtspunkt der Größenvergleichung und Größenzuordnung aufgestellt sein; es müssen, zum mindesten hypothetisch und vorläufig, bestimmte Konstanten festgelegt sein, ehe eine konkrete Messung überhaupt einsetzen kann. In diesem Sinne enthält jede Messung ein rein ideelles Moment: es sind nicht sowohl die sinnlich-dinglichen Maßinstrumente, als vielmehr unsere eigenen Gedanken, mit denen und an denen wir das Geschehen in der Natur messen. Die Instrumente der Messung sind gleichsam nur die sichtbare Verkörperung dieser Gedanken, denn jedes von ihnen schließt seine eigene Theorie in sich und liefert nur, sofern diese Theorie als gültig vorausgesetzt wird, richtige und brauchbare Ergebnisse (vgl. 8, S. 189 ff.). Nicht Uhren und körperliche Maßstäbe, sondern Prinzipien und Postulate sind die eigentlichen, letzten Maßinstrumente. Denn in der Mannigfaltigkeit und Veränderlichkeit der Naturerscheinungen besitzt das Denken immer nur dadurch einen relativ festen Standort, daß es ihn sich selbst nimmt. In der Wahl dieses Standorts aber ist es nicht von vornherein durch die Erscheinungen gebunden; sondern sie bleibt seine eigene Tat, für die es zuletzt niemand als sich selbst verantwortlich ist. Die Entscheidung wird im Hinblick auf die Erfahrung, d. h.

auf den gesetzlichen Zusammenhang der Beobachtungen getroffen, aber sie ist nicht durch die bloße Summe der Beobachtungen in eindeutiger Weise vorgeschrieben. Denn diese sind an sich immer durch eine Mehrheit und Verschiedenheit gedanklicher Ansätze ausdrückbar, zwischen denen lediglich die Rücksicht auf die logische „Einfachheit" — genauer, auf die systematische Einheit und Geschlossenheit — der wissenschaftlichen Darstellung eine Auswahl ermöglicht und bestimmt. In dem Augenblick, in dem das Denken, seinen Ansprüchen und Forderungen gemäß, die Form der „einfachen" Grund- und Maßverhältnisse verändert, stehen wir auch inhaltlich vor einem neuen „Weltbild". Die früher gewonnenen und festgestellten Beziehungen der Erfahrung verlieren jetzt zwar nicht ihre Geltung, aber sie treten, indem sie in einer neuen Begriffssprache ausgedrückt werden, zugleich in einen neuen Bedeutungszusammenhang ein. Die festen Archimedischen Punkte der früheren Weltbetrachtung geraten in Bewegung, das bisherige ποῦ στῶ des Gedankens erscheint aufgehoben. Aber es zeigt sich alsbald, daß der Gedanke, kraft seiner eigentümlichen Grundfunktion, eine frühere Setzung nur dadurch aufheben kann, daß er sie durch eine allgemeinere und umfassendere ersetzt; daß er die Konstanz und Identität, die zu fordern und zu suchen er nicht ablassen kann, innerhalb der Erscheinungen nur an eine andere und tiefere Stelle verlegt. Daß alle Erfüllungen, die die Denkforderung letzter Konstanten innerhalb des Empirischen finden kann, immer nur bedingt und relativ sind, — das eben versichert ihn nun der Unbedingtheit und des Radikalismus eben dieser Forderung selbst. Die kritische Erkenntnistheorie will diesen Zusammenhang nicht nur *in abstracto* aufzeigen, sondern für sie bildet gerade die konkrete Denk*bewegung*, die ständige Oscillation zwischen Erfahrung und Begriff, zwischen Tatsachen und Hypothesen in der Geschichte der Physik einen immer neuen Quell der Belehrung. Mitten in dem Wandel der besonderen theoretischen Maßinstrumente hält sie an dem Gedanken der allgemeinen Einheit der Messung fest, der freilich für sie kein realistisches Dogma, sondern ein ideelles Ziel und eine niemals abschließbare Aufgabe bedeutet. Jede neue physikalische Hypothese stellt gleichsam ein neues logisches Koordinatensystem auf, auf das wir die Erscheinungen beziehen, wobei jedoch der Gedanke, daß alle diese Systeme gegen einen bestimmten eindeutigen Grenzwert konvergieren, als Regulativ der Forschung aufrecht erhalten bleibt. In dem

Gewirr und dem steten Fluß der Erscheinungen scheint der Verstand zunächst fast willkürlich gewisse feste Punkte zu fixieren und herauszuheben, um kraft ihrer ein bestimmtes Gesetz der Veränderungen zu erkennen — aber alles, was er in diesem Sinne als bestimmt und gültig ansieht, erweist sich ihm im eigenen weiteren Fortschritt alsbald als bloßer Näherungswert. Die erste Setzung muß durch eine zweite, diese durch eine dritte u. s. f. auf der einen Seite logisch eingeschränkt, auf der anderen Seite aber eben damit zugleich logisch näher determiniert werden. So verschiebt sich immer aufs neue der jeweilig gewählte theoretische Mittelpunkt des Denkens; aber erst in diesem Fortgang wird auch der Umkreis des Seins, wird die Sphäre der gegenständlichen Erkenntnis mehr und mehr mit dem Gedanken erfüllt. So oft es scheint, daß das Denken durch neue Tatsachen und Beobachtungen, die sich seinen bisher formulierten Gesetzen entziehen, aus den Angeln gehoben sei, — so oft zeigt sich, daß es in Wahrheit in ihnen einen neuen Angelpunkt gefunden hat, um den sich fortan die Gesamtheit der empirisch aufweisbaren „Tatsachen“ bewegt. Die erkenntnistheoretische Darstellung und Würdigung jeder neuen physikalischen Theorie wird immer versuchen müssen, den ideellen Mittel- und Drehpunkt aufzuweisen, um den sie die Allheit der Phänomene, der wirklichen wie der möglichen Beobachtungen kreisen läßt; sei es, daß dieser Punkt in ihr selbst klar bezeichnet ist, sei es, daß sie nur mittelbar durch die bestimmte gedankliche Richtung aller ihrer Sätze und Folgerungen auf ihn zurückweist.

II.

DIE EMPIRISCHEN UND BEGRIFFLICHEN GRUNDLAGEN DER RELATIVITÄTSTHEORIE.

Wenn nach den Eingangsworten der „Kritik der reinen Vernunft“ kein Zweifel darüber bestehen kann, daß alle unsere Erkenntnis mit der Erfahrung anfange: so gilt dies vor allem dort, wo es sich darum handelt, den Ursprung einer physikalischen Theorie zu bezeichnen. Hier kann die Frage niemals lauten, ob die Theorie aus der Erfahrung hervorgegangen ist, sondern lediglich, wie sie sich auf sie gründet und welches Verhältnis die verschiedenen Momente, die das Erfahrungsdenken als solches bezeichnen und konstituieren, in ihr eingegangen sind. Es bedarf demnach keiner besonderen erkenntnistheoretischen Analyse, um die Beziehungen klarzustellen, die die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie zur Erfahrung, zum Ganzen der Beobachtung und des physikalischen Experiments besitzt, — nur darüber wird eine solche Analyse zu entscheiden haben, ob die Theorie in ihrem Ursprung und ihrer Entwicklung als Beleg und Zeugnis für den kritischen oder als Zeugnis für den sensualistischen Erfahrungsbegriff zu gelten hat. Bedeutet die „Erfahrung“, wie sie hier gebraucht wird, lediglich die bloße Summe der Einzelbeobachtungen — *experimentorum multorum coacervatio,* wie ein sensualistischer Denker es einmal bezeichnet hat — oder prägt sich in ihr eine eigene und selbständige gedankliche Form aus? Handelte es sich, in dem Aufbau der Theorie, lediglich darum, „Tatsache“ an „Tatsache“, Wahrnehmung an Wahrnehmungen zu knüpfen — oder haben in dieser Verknüpfung des Besonderen von Anfang an bestimmte allgemeine und kritische Normen, bestimmte methodische Grundvoraussetzungen mitgewirkt? Kein noch so weit getriebener „Empirismus“ kann jemals versuchen, die Rolle des Denkens in der Aufstellung und Begründung der physikalischen Theorien zu verleugnen — so wenig es auf der andern Seite

einen logischen Idealismus gibt, der versuchen könnte, das „reine Denken“ von der Beziehung auf die Welt des „Faktischen“ und von der Bindung an sie loszulösen. Die Frage, die zwischen beiden Betrachtungsweisen entscheidet, kann nur dahin gehen, ob das Denken im einfachen Registrieren der Tatsachen aufgeht, oder ob es bereits in der Feststellung, in der Gewinnung und Deutung der „Einzeltatsache“ seine eigentümliche Kraft und Funktion bewährt. Erschöpft sich seine Leistung darin, die Einzeldaten, die unmittelbar aus der sinnlichen Beobachtung zu entnehmen sind, wie Perlen an einer Schnur aufzureihen — oder tritt es ihnen mit eigenen ursprünglichen Maßen, mit selbständigen Kriterien des Urteils gegenüber?

Das Problem, das hier gestellt ist, hat seine erste scharfe und klare systematische Prägung in der Platonischen Ideenlehre erhalten. Auch für den Platonischen Idealismus steht der Satz fest, daß es nicht möglich sei zu denken, ohne aus irgendeiner Wahrnehmung heraus: οὐ δυνατὸν ἐννοεῖν ἢ ἔκ τινος αἰσθήσεως. Aber die Funktion des „Logischen in uns“ besteht nun freilich nicht darin, die Summe der einzelnen Wahrnehmungen zu ziehen, aus den „gleichen Hölzern und Steinen“ die „Idee des Gleichen“ abzulesen und abzuleiten, — sondern sie bewährt sich in der Unterscheidung und Beurteilung des in der Wahrnehmung Gegebenen. Diese Unterscheidung macht den eigentlichen Grundcharakter des Denkens — als διάνοια, als *discursus* — aus. Nicht jede Wahrnehmung und Beobachtung regt indes die kritische und entscheidende Tätigkeit des Denkens in gleicher Weise an. Es gibt unter ihnen solche, die den Verstand nicht zur Betrachtung herausfordern, da ihnen schon durch die bloße Empfindung Genüge geleistet wird — andere aber wieder, die auf alle Weise den Gedanken herbeirufen, als ob nämlich bei ihnen die Wahrnehmung für sich allein gar nichts Gesundes auszurichten vermöge. „Nicht auffordernd nämlich ist das, was nicht in eine entgegengesetzte Wahrnehmung zugleich ausschlägt, was aber dazu ausschlägt, setze ich als auffordernd, weil die Wahrnehmung nun dieses um nichts mehr als sein Gegenteil kundgibt. So ist manches in der Wahrnehmung ein Paraklet des Denkens (παρακλητικὰ τῆς διανοίας) anderes wieder nicht — nämlich ein solcher Erwecker des Gedankens ist *all das, was zugleich mit seinem Gegenteil in die Sinne fällt;* was aber nicht, das regt auch den Gedanken nicht auf“ (Republ. 523/524). In dieser Platonischen Bestimmung des Verhältnisses von Denken und

Empfindung, von Vernunft und Sinnlichkeit, haben wir — wie Cohen betont hat — „einen der fundamentalsten Gedanken in der Entwicklung der Erkenntniskritik" vor uns (*12*, S. 16 ff.). Wie das Denken sich für Platon erst in Spruch und Widerspruch, erst in der Dialektik zu dem, was es ist, entfaltet — so vermag nicht jeder beliebige Inhalt der Wahrnehmung, sondern nur derjenige, der diesem Zug des Gedankens selbst entspricht und entgegenkommt, zu seinem Erwecker und Parakleten zu werden. Die Dialektik der Wahrnehmung ruft die des Denkens zur Beurteilung und zur Entscheidung auf. Überall dort, wo die Wahrnehmungen gleichsam friedlich nebeneinander ruhen, wo keine innere Spannung zwischen ihnen besteht, ruht auch das Denken — erst dort, wo sie sich widersprechen, wo sie einander aufzuheben drohen, tritt sein grundlegendes Postulat, seine unbedingte Einheitsforderung hervor und verlangt eine Umbildung, eine Neugestaltung der Erfahrung selbst.

Die Entwicklung der Relativitätstheorie hat für dieses allgemeine Verhältnis einen neuen typischen Beweis erbracht. Es war in der Tat ein fundamentaler Widerspruch innerhalb der physikalischen Erfahrungen selbst, von dem sie ihren Ausgang nahm. Auf der einen Seite stand der Fizeau'sche, auf der anderen der Michelson'sche Versuch — und beide erschienen in ihren Ergebnissen schlechthin unvereinbar. Beide sollten eine Antwort auf die Frage erbringen, wie die Geschwindigkeit des Lichts in einem bewegten Medium sich zu seiner Geschwindigkeit im ruhenden Medium verhalte: und sie entschieden die Frage in durchaus entgegengesetztem Sinne. Der Fizeau'sche Versuch zeigte, daß die Lichtgeschwindigkeit in strömendem Wasser größer, als die in ruhendem Wasser sei, daß sich aber andererseits nicht die volle Strömungsgeschwindigkeit des Wassers, sondern nur ein bestimmter Bruchteil von ihr, zu der Geschwindigkeit im ruhenden Medium hinzuaddiert. Nennen wir W die Lichtgeschwindigkeit im bewegten, w die Lichtgeschwindigkeit im ruhenden Medium und v die Geschwindigkeit der Strömung, so ergab sich, daß nicht einfach $W=w+v$, sondern daß vielmehr $W=w+v\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$ ist, wobei die Größe $n=\frac{c}{w}$ den Brechungsexponenten der Flüssigkeit bezeichnet. Dieses Resultat sprach in der Deutung, die es durch die Theorie von Lorentz erfuhr, unmittelbar für die Annahme eines ruhenden, von den Körpern bei ihrer Bewegung nicht mitgeführten Äthers. Aber der Versuch Michelsons, die Folgen der Erdbewegung gegen diesen ruhenden Äther sichtbar zu machen, schlug fehl.

Ein Einfluß der Erdbewegung auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts war in keiner Weise nachzuweisen: vielmehr zeigte sich immer deutlicher, daß alle optischen Phänomene so verlaufen, als ob eine Translation der Erde gegen den Äther nicht vorhanden sei[1]. Und hinter diesem Widerstreit der „Tatsachen" stand, wie man immer bestimmter erkennen mußte, ein Widerstreit der allgemeinen Prinzipien, zu denen die Theorie der mechanischen und der optisch-elektromagnetischen Erscheinungen zwingend hinzuführen schien. Die Erfahrungen auf dem letzteren Gebiet ließen sich schließlich in einen einzigen Satz: in das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im Vacuum, zusammenfassen. Die Geltung der Maxwell-Hertz'schen Grundgleichungen der Elektrodynamik schließt die Annahme in sich, daß sich das Licht im leeren Raum stets mit einer bestimmten, vom Bewegungszustande des emittierenden Körpers unabhängigen Geschwindigkeit V fortpflanze. Gleichviel von welchem System aus man die Beobachtung anstellt und von welcher Lichtquelle das Licht ausgeht, so soll doch stets für seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselbe eindeutige Wert gefunden werden. Aber diese durch die Prinzipien der Elektrodynamik notwendig geforderte Annahme der Lichtgeschwindigkeit als einer universellen, für alle Systeme gleichbleibenden Konstanten trat nun in Gegensatz zu dem Relativitätsprinzip der Galilei-Newton'schen Mechanik. Dieses Prinzip fordert, wenn irgendein bestimmter Galilei'scher Bezugskörper gegeben ist — d. h. ein solcher, relativ zu dem ein „sich selbst überlassener" Körper in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmig-geradlinigen Bewegung beharrt — daß alle Gesetze, die relativ zu diesem Bezugskörper K gelten, auch dann in Geltung bleiben, wenn man von dem Bezugssystem K zu einem anderen K' übergeht, das sich gegen K in gleichförmiger translatorischer Bewegung befindet. Beim Übergang von K zu K' gelten dann die Gleichungen der „Galilei-Transformation"

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z$$

(wenn v die konstante Geschwindigkeit von K' gegen K parallel zur x- und x'-Achse bedeutet), zu denen noch die identische, in der

[1] Näheres über den Fizeau'schen und Michelson'schen Versuch sowie über den negativen Ausfall anderer Versuche über den Einfluß der Erdbewegung auf die optischen und elektrischen Phänomene s. bei Laue [*40*], S. 10 ff.

klassischen Mechanik nicht besonders ausgezeichnete Transformation für die Zeit $t'=t$ hinzuzufügen ist. Versucht man jedoch, das Relativitätsprinzip der Mechanik auf die Elektrodynamik anzuwenden, d. h. deren Grundgleichungen gemäß den Formeln der Galilei-Transformation umzurechnen, so zeigte sich dies als undurchführbar: die elektrodynamischen Grundgleichungen ändern, im Gegensatz zu den Newtonschen Bewegungsgleichungen, ihre Gestalt, wenn man in ihnen an Stelle der Koordinaten x, y, z, t die Koordinaten x', y', z', t' nach den Regeln der Galilei-Transformation einführt. Die Bemühungen, Mechanik und Elektrodynamik dadurch zu vereinen, daß man das Relativitätsprinzip der ersteren auf die letztere übertrug, mußten daher aufgegeben werden: die Hertz'sche Theorie, die einen derartigen Versuch darstellte, geriet mit den gesicherten experimentellen Ergebnissen in einen unausgleichbaren Widerstreit. Die physikalische Forschung stand vor dem Dilemma, ein Prinzip, das sich ihr in aller Deutung der Bewegungserscheinungen ausnahmslos bewährt hatte und das einen Grundstein des Gebäudes der klassischen Mechanik bildete, aufzugeben — oder es innerhalb seines Gebiets festzuhalten, dagegen seine Anwendbarkeit auf die optisch-elektromagnetischen Erscheinungen zu leugnen. In beiden Fällen schien es um die Einheit der Naturerklärung, um die Einheit des Naturbegriffs selbst, getan. Hier war daher in der Tat jene Bedingung erfüllt, die Platon für die gedankliche Fruchtbarkeit der Erfahrung aufgestellt hatte: hier stand die Erfahrung an einem Punkte, an dem eine gesicherte Beobachtung unmittelbar in eine entgegengesetzte aus- und umzuschlagen schien. Der Widerstreit zwischen dem Prinzip der Konstanz der Lichtausbreitung und dem Relativitätsprinzip der Mechanik wurde jetzt zum „Parakleten des Denkens" — zum eigentlichen Erwecker der Relativitätstheorie.

Wie aber verfährt nun das physikalische Denken, um diesen Widerstreit zu überwinden, da es an die Aussage der Beobachtung als solche gebunden ist — da es weder die Tatsachen, die im Prinzip der konstanten Vacuumslichtgeschwindigkeit, noch diejenigen, die im Relativitätsprinzip der Mechanik ihren Ausdruck finden, bei Seite schieben kann? Blickt man auf den geschichtlichen Gang der Relativitätstheorie zurück, so erkennt man, daß diese hier einer Weisung gefolgt ist, die Goethe einmal gegeben hat. „Die größte Kunst im Lehr- und Weltleben" — so schreibt Goethe an Zelter — „besteht darin, das Problem in ein Postulat zu

verwandeln, damit kommt man durch.“ In der Tat ist dies der Weg gewesen, den Einstein in seiner grundlegenden Abhandlung „Zur Elektrodynamik bewegter Systeme“ vom Jahre 1905 beschritten hat. Der Satz von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit tritt hier als Postulat an die Spitze: zugleich aber wird, gestützt auf das negative Ergebnis aller Versuche, eine „absolute“ Bewegung gegen ein bestimmtes bevorzugtes Bezugssystem, gegen den „ruhenden Äther“ festzustellen, die *Vermutung* ausgesprochen, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten. Und auch diese „Vermutung“ bleibt nun nicht nur als solche stehen, sondern sie wird ausdrücklich „zur Voraussetzung erhoben“, d. h. es wird eine solche Gestaltung der Theorie verlangt, die gleichzeitig den Bedingungen des Prinzips der Relativität und des Prinzips der konstanten Lichtausbreitung genügt (vgl. *16*, S. 26). Beide Annahmen sind freilich nach den Denkmitteln und Denkgewohnheiten der bis zur Aufstellung der Relativitätstheorie allgemein gebrauchten Kinematik miteinander unverträglich: aber sie — sollen es nicht länger sein. An die physikalische Theorie ergeht die Forderung, diese Unverträglichkeit zu heben, indem sie eben diese Denkmittel und Denkgewohnheiten selbst einer kritischen Prüfung unterzieht. Durch eine Analyse der physikalischen Begriffe von Raum und Zeit ergibt sich jetzt, daß in Wahrheit eine Unvereinbarkeit des Relativitätsprinzips mit dem Ausbreitungsgesetz des Lichts gar nicht vorhanden ist; daß es vielmehr lediglich der Umbildung dieser Begriffe bedarf, um zu einer logisch einwandfreien Theorie zu gelangen. Erkennt man, daß die Maßwerte, die innerhalb eines Systems durch bestimmte physikalische Methoden der Messung, durch Anwendung von starren Maßstäben und Uhren, zu gewinnen sind, keine ein für allemal feststehende „absolute“ Bedeutung haben, sondern daß sie vom Bewegungszustand des Systems abhängig sind und je nach ihm notwendig verschieden ausfallen müssen, — so ist der entscheidende Schritt getan. Jetzt entsteht nur noch die rein mathematische Aufgabe, das Verwandlungsgesetz aufzustellen, nach welchem die Raum-Zeit-Größen eines Ereignisses sich beim Übergang von einem Bezugskörper zu einem andern, der sich dem ersteren gegenüber in gleichförmiger Translationsbewegung befin-

det, verändern. Diese Aufgabe wird in bekannter Weise durch die Grundgleichungen der „Lorentz-Transformation“

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

gelöst. Hält man an diesen Gleichungen fest, so erkennt man, daß nach ihnen das Gesetz der Lichtausbreitung im Vacuum für alle berechtigten Systeme K und K' gleichmäßig erfüllt ist; andererseits zeigt sich, daß die Maxwellschen Grundgleichungen der Elektrodynamik ihre Form nicht ändern, wenn man, statt der Umrechnungsformeln der Galilei-Transformation, die der Lorentz-Transformation auf sie anwendet. Jetzt gilt somit ein allgemeines, das Ganze der physikalischen Erscheinungen umfassendes Relativitätsprinzip: die Gesetze, nach denen sich die Zustände der physikalischen Systeme ändern, sind unabhängig davon, auf welches von zwei relativ zueinander in gleichförmiger Translationsbewegung befindlichen Koordinatensysteme diese Zustandsänderungen bezogen werden (vgl. *16*, S. 29). Dem Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik wird durch dieses allgemeine Prinzip so wenig widersprochen, daß es vielmehr in ihm als spezieller Fall enthalten ist: die Gleichungen der Galilei-Transformation gehen aus denen der Lorentz-Transformation unmittelbar hervor, wenn man nur solche Geschwindigkeiten v in Betracht zieht, die gegenüber der Lichtgeschwindigkeit c sehr klein sind, so daß die Größen $\frac{v}{c^2}$ $\frac{v^2}{c^2}$ praktisch außer Ansatz bleiben können. Es ergibt sich hieraus, daß das Relativitätsprinzip der Elektrodynamik, wenn es auf die Mechanik übertragen wird, mit keinem empirischen Ergebnis in Widerstreit geraten kann, während sich die umgekehrte Übertragung des Relativitätsprinzips der Mechanik auf die Elektrodynamik, wie das Scheitern der Hertz'schen Theorie lehrte, als unmöglich erwies. Näher betrachtet werden indessen in der speziellen Relativitätstheorie keineswegs die elektrodynamischen Vorgänge als Schlüssel der mechanischen benutzt, sondern es wird in ihr ein wahrhaft allge-

meines Prinzip, eine „heuristische Maxime“ der Forschung überhaupt, hingestellt, die für alle besonderen physikalischen Gebiete und für alle besonderen physikalischen Theorien ein Kriterium ihrer Gültigkeit und ihrer Zulässigkeit zu enthalten beansprucht. So zeigt sich, daß gerade der anfängliche Widerspruch, der in den Prinzipien der Mechanik und der Elektrodynamik hervortrat, den Weg gewiesen hat, um zu einer weit vollkommeneren und tieferen Einheit zwischen beiden, als sie zuvor bestand, durchzudringen. Und dies Ergebnis wurde nicht schlechthin durch eine Häufung der Erfahrungen, durch neu angestellte Versuche erreicht, sondern es beruht auf einer kritischen Umgestaltung, die das System der physikalischen Grundbegriffe erfuhr.

Nach der rein erkenntnistheoretischen Seite hin tritt uns daher in diesem gedanklichen Prozeß, dem die Relativitätstheorie ihre Entstehung verdankt, noch einmal in besonderer Schärfe und Deutlichkeit jene eigentümliche „Copernikanische Drehung“, jene Variation in den begrifflichen Grundlagen der Naturtheorie, entgegen, die wir zuvor am Beispiel der klassischen Mechanik und der älteren Physik verfolgt haben. Wieder erscheint ein wesentlicher Teil ihrer Leistung darin gegründet, daß sie die bisherigen logischen Konstanten der physikalischen Erkenntnis verschoben, daß sie sie an eine andere Stelle als zuvor verlegt hat. Für die klassische Mechanik war der feste und unverrückbare Punkt die Annahme der Identität der Raum- und Zeitwerte, die durch Messung in den verschiedenen Systemen ermittelt wurden. Diese Identität galt als das fraglose und sichere Fundament ihres Gegenstandsbegriffs überhaupt: als das, was den Gegenstand der „Natur“, als geometrisch-mechanischen Gegenstand erst eigentlich konstituiert und ihn von den wandelbaren und relativen Daten der sinnlichen Empfindung unterscheidet. τὸ μὲν σχῆμα καθ’ αὑτό ἐστι, τὸ δὲ γλυκὺ καὶ ὅλως τὸ αἰσθητὸν πρὸς ἄλλο καὶ ἐν ἄλλοις — so lautete der Satz, der schon bei Demokrit zur Grundlegung der Atomistik geführt hatte und der sodann in der neueren Zeit von Galilei wieder aufgenommen wird, um auf ihn die prinzipielle Unterscheidung der „primären“ und „sekundären“ Qualitäten, und damit die gesamte „mechanische Weltansicht“ zu stützen. Aber so fruchtbar das hier aufgestellte Prinzip sich zeigte und so sehr es sich im Aufbau der mathematischen Physik bewährte, so zeigte doch die moderne Entwicklung der Physik immer deutlicher, daß es im philosophisch-methodischen Sinne zu eng gefaßt war. Nicht der Mechanismus — so hat

Henri Poincaré einmal die leitende Maxime der modernen Physik formuliert — ist das wahre Ziel der Wissenschaft: sondern die Einheit ist es. Von dieser Einheit aber hat der Physiker nicht zu fragen, ob sie ist, sondern lediglich wie sie ist — d. h. welches das Minimum der Voraussetzungen ist, die notwendig und hinreichend sind, eine eindeutige Darstellung der Gesamtheit der Erfahrungen und ihres systematischen Zusammenhangs zu liefern (72, S. 172 ff.). Um diese Einheit, die durch den Widerstreit des Prinzips der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und des Relativitätsprinzips der Mechanik gefährdet schien, aufrecht zu erhalten und um sie tiefer und fester zu begründen, hat die Relativitätstheorie auf die Einerleiheit der Maßwerte für die Raum- und Zeitgrößen in den verschiedenen Systemen verzichtet. Sie gibt die Voraussetzung auf, daß der Zeitabstand zwischen zwei Ereignissen eine ein für allemal feststehende, vom Bewegungszustand des Bezugskörpers unabhängige Größe sei und daß ebenso der räumliche Abstand zwischen zwei Punkten eines starren Körpers vom Bewegungszustande des Bezugskörpers unabhängig sei — sie deckt, durch den Rückgang auf die Methode der Zeitmessung und auf die fundamentale Rolle, die die Lichtgeschwindigkeit in allen unseren physikalischen Zeitmessungen spielt, die Relativität der Gleichzeitigkeit zweier Vorgänge auf und führt weiter zu der Einsicht, daß, wie sich aus den Formeln der Lorentz-Transformation ergibt, auch der Größenwert für die Länge eines Körpers, für sein Volumen, seine Gestalt, für seine Energie und Temperatur u. s. f. je nach der Wahl des Bezugssystems, in dem die Messung erfolgt, verschieden anzusetzen ist. Aber alle diese Relativierungen stehen so wenig im Widerspruch zum Gedanken der Konstanz und der Einheit der Natur, daß sie vielmehr im Namen eben dieser Einheit gefordert und durchgeführt werden. Die Variation der Raum- und Zeitmaße bildet die notwendige Bedingung, vermöge deren die neuen Invarianten der Theorie sich erst finden und begründen lassen. Solche Invarianten ergeben sich in der für alle Systeme gleichen Größe der Lichtgeschwindigkeit und weiterhin in einer Reihe anderer Größen, die wie z. B. die Entropie eines Körpers, seine elektrische Ladung oder wie das mechanische Wärmeäquivalent, der Lorentz-Transformation gegenüber unveränderlich sind und die daher in allen berechtigten Bezugssystemen den gleichen Wert besitzen. Vor allem aber ist es die allgemeine Form der Naturgesetze selbst, in der wir nunmehr das eigentlich Invariante und somit das eigentliche logische

Grundgerüst der Natur überhaupt zu erkennen haben. Wenn die spezielle Relativitätstheorie sich zunächst darauf beschränkt, für die Formulierung der Naturgesetze alle Bezugskörper K' als gleichwertig anzusehen, die relativ zu einem bestimmten berechtigten Bezugssystem K gleichförmig und geradlinig bewegt sind, so erweitert die allgemeine Theorie diesen Satz zu der Behauptung, daß alle Bezugskörper K K', welches ihr Bewegungszustand sein mag, für die Naturbeschreibung als gleichwertig zu gelten haben (*17*, S. 9, *18*, S. 42). Aber der Weg, auf dem allein zu dieser wahrhaften Allgemeinheit des Begriffs der Natur und der Naturgesetzlichkeit zu gelangen ist, auf dem eine eindeutige und objektiv-gültige, von der Wahl des jeweiligen Bezugssystems unabhängige Beschreibung der Phänomene zu erreichen ist, führt, wie die Theorie zeigt, notwendig durch die Relativierung der Raum- und Zeitgrößen, die innerhalb der Einzelsysteme gelten, hindurch; diese als veränderlich, als transformierbar setzen, heißt erst zur wahrhaften Invarianz der echten universellen Naturkonstanten und der universellen Naturgesetze durchdringen. Das Postulat der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und das Postulat der Relativität erweisen sich so als die beiden festen Punkte der Theorie, als die ruhenden gedanklichen Pole, um welche sie die Erscheinungen dreht: und bei dieser Drehung zeigt es sich, daß auch die bisherigen logischen Konstanten der Naturtheorie, daß ein ganzes System von Begriffswerten und von numerischen Werten, die bisher als schlechthin eindeutig und feststehend galten, in Fluß geraten müssen, um der neuen strengeren Einheitsforderung, die das physikalische Denken aufstellt, genügen zu können.

So erweist sich die Beziehung auf die Erfahrung, die Rücksicht auf die Phänomene und ihre einheitliche Darstellung überall als grundlegendes Moment; aber zugleich tritt freilich hervor, wie — nach dem Goetheschen Wort — die Erfahrung doch immer nur die halbe Erfahrung ist; denn nicht das bloße Beobachtungsmaterial als solches, sondern die ideelle Form, in die es erhoben wird und die gedankliche Deutung, die es erfährt, begründet den eigentlichen Wert der Relativitätstheorie und ihren Vorrang vor anderen Erklärungsweisen. Wie bekannt, war der Michelson-Morleysche Versuch, der den Anstoß und Ausgangspunkt für die Entwicklung der Relativitätstheorie gegeben hat, schon im Jahre 1904 von Lorentz in einer Weise gedeutet worden, die allen rein physikalischen Anforderungen entsprach. Die Lorentz'sche Hypothese,

daß jeder gegen den ruhenden Äther mit der Geschwindigkeit v bewegte Körper in seiner Dimension parallel zur Geschwindigkeit eine bestimmte Verkürzung, und zwar im Verhältnis von $1 : \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ erfahre, genügte, um von allen bekannten Beobachtungen vollständig Rechenschaft zu geben. Eine experimentelle Entscheidung zwischen der Lorentz'schen und der Einstein'schen Theorie, war somit nicht möglich: es zeigte sich, daß es zwischen beiden prinzipiell kein «*experimentum crucis*» geben könne.[1] Die Anhänger der neuen Lehre mußten sich demgemäß — ein seltsames Schauspiel in der Geschichte der Physik — auf allgemein philosophische Gründe berufen, — auf die Vorzüge, die sie in systematischer und erkenntnistheoretischer Hinsicht gegenüber der Lorentz'schen Annahme besitzt. „Eine eigentliche experimentelle Entscheidung zwischen der Lorentz'schen und der Relativitätstheorie — so erklärte z. B. Laue in seiner Darstellung des Relativitätsprinzips i. J. 1911 — ist wohl überhaupt nicht zu erbringen, und wenn die erstere trotzdem in den Hintergrund getreten ist, so liegt dies hauptsächlich daran, daß ihr, so nahe sie auch der Relativitätstheorie kommt, doch das große, einfache, allgemeine Prinzip mangelt, dessen Besitz der Relativitätstheorie . . . etwas Imposantes verleiht".[2] Als erkenntnistheoretisch unbefriedigend erschien die Lorentz'sche Annahme vor allem darum, weil hier einem physikalischen Gegenstand, dem Äther, ganz bestimmte Wirkungen zugeschrieben wurden, während gleichzeitig aus eben diesen Wirkungen sich ergab, daß er für uns niemals ein Objekt möglicher Beobachtung werden könne. Auch Minkowski erklärte in seinem Vortrag über Raum und Zeit, die Lorentz'sche Hypothese klinge äußerst phantastisch: da die Kontraktion nicht etwa physikalisch als Folge von Widerständen im Äther, sondern rein als „Geschenk von oben", als Begleitumstand des Umstandes der Bewegung zu denken sei [47, S. 60 f.]. Was somit letzten Endes gegen diese Annahme entschied, war nicht

[1] Näheres hierüber z. B. bei Ehrenfest [*15a*], S. 16 ff.

[2] *40*, S. 19 f.; vgl. *41*, S. 106. Vgl. auch die charakteristische Bemerkung von Lorentz selbst in seinen Haarlemer Vorlesungen. „Die Bewertung (der Grundbegriffe der Einstein'schen Relativitätstheorie) *gehört größtenteils zur Erkenntnislehre*, und man kann denn auch das Urteil ihr überlassen, im Vertrauen, daß sie die besprochenen Fragen mit der benötigten Gründlichkeit betrachten wird. Sicher ist es aber, daß es für einen großen Teil von der Denkweise abhängen wird, an die man gewöhnt ist, ob man sich am meisten zur einen oder zur anderen Auffassung angezogen fühlt. Was den Vortragenden selbst betrifft, so findet er wohl eine gewisse Befriedigung in den älteren Auffassungen, daß der Äther wenigstens noch einige Substanzialität besitzt, daß Raum und Zeit scharf getrennt werden können, daß man von Gleichzeitigkeit ohne nähere Spezialisierung reden darf" [*46a*, S. 23].

irgendein empirischer, sondern ein methodischer Mangel. Sie verstieß in schärfster Form gegen einen allgemeinen Grundsatz, auf den schon Leibniz in seinem Kampf gegen die Newtonischen Begriffe des absoluten Raumes und der absoluten Zeit sich gestützt und den er als «Prinzip der Beobachtbarkeit» (principe de l'observabilité) formuliert hatte. Wenn Clarke, als Vertreter Newtons, von der Möglichkeit gesprochen hatte, daß das Universum in seiner Bewegung gegen den absoluten Raum eine Verzögerung oder Beschleunigung erfahren könnte, die dann freilich für unsere Maßmittel in keiner Weise mehr feststellbar wäre, — so erwidert Leibniz, daß alles, was aus dem Umkreis der Beobachtung prinzipiell herausfalle, auch kein „Sein" im physischen Sinne besitze: quand il n'y a point de changement observable, il n'y a point de changement du tout (5, S. 247 ff.). Eben dieser Grundsatz der „Beobachtbarkeit" ist es, den Einstein an einer wichtigen und entscheidenden Stelle seiner Theorie: beim Übergang von der speziellen zur allgemeinen Relativitätstheorie zur Anwendung gebracht und den er mit dem allgemeinen Kausalsatz in eine notwendige Verknüpfung zu setzen versucht hat. Jede physikalische Erklärung eines Phänomens — so betont er — sei erst dann *erkenntnistheoretisch* befriedigend, wenn in sie keine anderen als beobachtbare Elemente eingehen: denn das Kausalitätsgesetz habe nur dann den Sinn einer Aussage über die Erfahrungswelt, wenn als Ursache und Wirkungen letzten Endes nur *beobachtbare Tatsachen* auftreten. (*17*, § 2). Hier stehen wir vor einem der gedanklichen Grundmotive, aus dem heraus die Relativitätstheorie erwachsen ist — vor einem Motiv, das ihr nicht nur den Vorzug vor der empirisch-gleichwertigen Lorentzschen Hypothese verschafft, sondern das auch den Fortgang von der eingeschränkteren Fassung des Relativitätspostulats in der speziellen Theorie zu seiner ganz allgemeinen Formulierung und Durchführung angeregt hat.

Und gerade die Art, in der dieser Fortgang sich vollzogen hat, ist nun ganz besonders geeignet, die begrifflichen und empirischen Voraussetzungen der Theorie und ihr gegenseitiges Verhältnis von neuem in helles Licht setzen. Die spezielle Relativitätstheorie beruht, wie sich gezeigt hat, auf zwei verschiedenen Annahmen, die in ihr gleichberechtigt nebeneinander stehen: auf dem Postulat der gleichförmigen Lichtausbreitung im Vakuum und auf der Voraussetzung, daß für die Formulierung der Naturgesetze alle Bezugssysteme, die relativ zu einem bestimmten berechtigten System K

geradlinig gleichförmige rotationsfreie Bewegungen ausführen, miteinander gleichberechtigt seien. Betrachtet man diese Voraussetzungen, die im empirischen Aufbau der speziellen Relativitätstheorie in unlöslichem Zusammenhang stehen, unter rein methodischem Gesichtspunkt — so zeigt sich, daß sie in *dieser* Hinsicht gleichsam verschiedenen Schichten angehören. Auf der einen Seite steht die Behauptung einer allgemeinen Naturtatsache, einer inhaltlichen Konstante, die sich aus dem experimentellen Befund der Optik und Elektrodynamik ergibt — auf der anderen steht eine Forderung, die wir an die Form der Naturgesetze selbst stellen. Im ersteren Falle wird empirisch festgestellt, daß es eine ausgezeichnete Geschwindigkeit von bestimmtem endlichem Werte gibt, die in jedem System, unabhängig von dessen Bewegungszustand, diesen ihren Wert beibehält — im zweiten wird eine allgemeine *Maxime* der Naturbetrachtung aufgestellt, die als „heuristisches Hilfsmittel beim *Aufsuchen* der allgemeinen Naturgesetze" dienen soll. In der formalen Beschränkung, die kraft dieser Maxime den Naturgesetzen auferlegt wird, liegt — wie Einstein selbst betont hat — die charakteristische „Spürkraft", die dem Relativitätsprinzip innewohnt (*18,* S. 28, 67). Aber beides: das „materiale" und das „formale" Prinzip sind in der Gestaltung der speziellen Relativitätstheorie noch nicht voneinander geschieden. Daß diese Scheidung einsetzt, und daß sich in ihr nun der allgemeine Grundsatz dem besonderen, der „formale" dem „materialen" überordnet — darin besteht, rein erkenntnistheoretisch betrachtet, der wesentliche Schritt, den die allgemeine Relativitätstheorie vollzieht. Und dieser Schritt scheint nun freilich zunächst zu einer seltsamen und paradoxen Folgerung zu führen: denn das besondere Resultat geht nunmehr nicht nur in dem allgemeinen auf, sondern es scheint in ihm unterzugehen. Vom Standpunkt der allgemeinen Relativitätstheorie besitzt das Gesetz von der Konstanz der Vacuumlichtgeschwindigkeit keine unbegrenzte Gültigkeit mehr. Nach ihr wird vielmehr die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes von Gravitationspotential abhängig und muß daher im allgemeinen mit dem Orte variieren. Die Lichtgeschwindigkeit muß stets von den Koordinaten abhängen, falls ein Gravitationsfeld vorhanden ist; sie ist nur insoweit als konstant anzusehen, als wir Bezirke mit konstanten Gravitationspotentialen ins Auge fassen. Man hat vielfach diese Konsequenz der allgemeinen Relativitätstheorie geradezu als eine Widerlegung der Voraussetzung angesehen, von der die spezielle Relativitäts-

theorie ihren Ausgang genommen und auf die sie alle ihre Deduktionen gestützt hatte. Aber mit Recht weist Einstein eine derartige Schlußfolgerung ab. Die spezielle Relativitätstheorie — so führt er aus — werde dadurch nicht entwertet, daß man einsieht, daß ihre Sätze sich nur auf ein bestimmt begrenztes Gebiet, nämlich auf die Erscheinungen in einem annähernd konstanten Gravitationsfeld, beziehen. „Vor der Aufstellung der Elektrodynamik wurden die Gesetze der Elektrostatik für die Gesetze der Elektrizität schlechthin angesehen. Heute wissen wir, daß die Elektrostatik die elektrischen Felder nur in dem nie streng realisierten Falle richtig liefern kann, daß die elektrischen Massen relativ zueinander und zum Koordinatensystem exakt ruhen. Ist deshalb die Elektrostatik durch Maxwells Feldgleichungen der Elektrodynamik über den Haufen geworfen worden? Keineswegs! Die Elektrostatik ist als Grenzfall in der Elektrodynamik enthalten; die Gesetze der letzteren führen direkt auf die ersteren in dem Falle, daß die Felder zeitlich unveränderlich sind. Es ist das schönste Los einer physikalischen Theorie, wenn sie selbst zur Aufstellung einer umfassenden Theorie den Weg weist, in welcher sie als Grenzfall weiterlebt" (18, S. 52). In der Tat bewährt sich in dem Fortschritt von der speziellen zur allgemeinen Relativitätstheorie nur wieder das gleiche Prinzip der naturwissenschaftlichen Begriffsbildung, durch welches auch der Fortschritt von der klassischen Mechanik zur speziellen Relativitätstheorie sich entschied. Abermals werden jetzt die Konstanten der Messung, der Naturtheorie überhaupt, an eine andere Stelle gerückt und abermals wandeln sich, mit der Gewinnung der neuen theoretischen Maßeinheit, Größenwerte, die auf dem früheren Standpunkt als „absolut" angesehen werden durften, in bloß relative, nur unter ganz bestimmten Einschränkungen gültige Bestimmungen. Wenn die klassische Mechanik, wie die spezielle Relativitätstheorie, noch zwischen bestimmten Bezugskörpern, relativ zu denen die Naturgesetze gültig sind und solchen, für welche sie es nicht sind, unterschied, so ist jetzt dieser Unterschied aufgehoben. Der Ausdruck der allgemeinen physikalischen Gesetze hat sich von jeder Bindung an ein einzelnes Koordinatensystem oder an gewisse Gruppen solcher Systeme gelöst. Die Naturgesetze bedürfen, um aussprechbar zu sein, zwar immer irgend ein bestimmtes Bezugssystem; aber ihr Sinn und Wert ist von der Individualität dieses Systems unabhängig und bleibt mit sich selbst identisch, welche Wandlungen dasselbe auch erfahren mag.

Erst mit diesem Ergebnis stehen wir im eigentlichen Mittelpunkt der allgemeinen Relativitätstheorie. Jetzt erkennen wir, wo ihre wahrhaft letzten Konstanten, wo die Angelpunkte liegen, um die sie die Erscheinungen dreht. Sie sind nicht in besonderen gegebenen Dingen zu suchen, die als bevorzugte Bezugssytseme aus allen übrigen herausgehoben sind — wie die Sonne für Copernicus, der Fixsternhimmel für Galilei und Newton noch solche Systeme waren. Wahrhaft invariant sind niemals irgendwelche Dinge, sondern immer nur gewisse Grundbeziehungen und funktionale Abhängigkeiten, die wir in der symbolischen Sprache unserer Mathematik und Physik in bestimmten Gleichungen festhalten. Dieses Ergebnis der allgemeinen Relativitätstheorie aber ist vom Standpunkt der Erkenntniskritik so wenig paradox, daß es vielmehr als das logische Resultat und als der natürliche logische Abschluß einer Gedankenbewegung angesehen werden kann, die für das gesamte philosophische und naturwissenschaftliche Denken der neueren Zeit charakteristisch ist[1]). Für die populäre Auffassung und ihre Denkgewohnheiten bleibt freilich die radikale Auflösung der „Dinge" in bloße Beziehungen nach wie vor bedenklich und befremdlich: — denn sie glaubt mit dem Dingbegriff zugleich auch den einzig sicheren Halt aller Objektivität, aller wissenschaftlichen Wahrheit überhaupt verlieren zu müssen. Und so hat man denn von dieser Seite her immer wieder nicht sowohl das positive, als vielmehr das negative Moment der Relativitätstheorie betont; — so hat man sich stets an das gehalten, was sie zerstört, nicht an das, was sie aufbaut. Aber merkwürdig berührt es, wenn man diese Haltung nicht nur in populären Darstellungen des Relativitätsprinzips, sondern auch in Versuchen zu seiner allgemeinen „philosophischen" Deutung wiederfindet — wenn man auch in ihnen der Auffassung begegnet, als dringe mit ihm ein Moment subjektiver Willkür in die Formulierung der Naturgesetze ein und als werde hier, zugleich mit der Einheit des Raumes und der Zeit, auch die Einheit des Naturbegriffs selbst aufgehoben. In Wahrheit herrscht, wie die nähere Betrachtung zeigt, in der Relativitätstheorie durchaus der entgegengesetzte Gedanke und die entgegengesetzte Tendenz. Sie lehrt uns, daß wir, um zu einem objektiven und eindeutigen Ausdruck des Naturgeschehens zu gelangen, die Raum- und Zeitwerte, die wir durch die Messung innerhalb eines bestimmten Bezugssystems erhalten haben,

[1]) Ich kann diese Behauptung hier freilich nur im allgemeinen hinstellen; für ihre Begründung muß ich auf die speziellen Darlegungen in meiner Schrift „Substanzbegriff und Funktionsbegriff" [8, S. 148—310] verweisen.

nicht ohne weiteres als die allein gültigen und allgemein gültigen ansetzen dürfen, sondern daß wir bei der wissenschaftlichen Bewertung dieser Maßgrößen den Bewegungszustand des Systems, von dem aus die Messung erfolgte, in Anschlag zu bringen haben. Erst wenn dies geschieht, können wir Messungen, die von verschiedenen Systemen aus erfolgt sind, gegenseitig vergleichen. Wahrhaft objektiv können nur diejenigen Beziehungen und diejenigen besonderen Größenwerte heißen, die dieser kritischen Prüfung standhalten — d. h. die sich nicht nur für ein System, sondern für alle Systeme bewähren. Daß es solche Beziehungen und Werte nicht nur gibt, sondern daß es sie geben muß, sofern überhaupt eine Wissenschaft von der Natur möglich sein soll: das eben ist der Gedanke, den die Relativitätstheorie als Postulat aufstellt. Gehen wir — wie wir es praktisch zunächst tun müssen — von einem bestimmten System der Messung aus, so müssen wir uns bewußt bleiben, daß die empirischen Maßwerte, die wir hier ermitteln, nicht schon die endgültigen Naturwerte bedeuten, sondern daß, um sie zu solchen zu erheben, zuvor eine gedankliche Korrektur an ihnen vollzogen werden muß. Das, was wir das Natursystem nennen, entsteht uns erst, indem wir die Messungen, die zunächst vom Standpunkt eines einzelnen Bezugskörpers ausgeführt wurden, mit denen in anderen Bezugskörpern — und prinzipiell mit denen in allen nur „möglichen" Bezugskörpern — zusammenhalten und sie ideell zu einem Ergebnis vereinen. Wie in dieser Behauptung irgend eine Einschränkung der „Objektivität" der physikalischen Erkenntnis gefunden werden kann, ist schlechterdings nicht ersichtlich — da sie ja offenbar nichts anderes, als die Definition eben dieser Objektivität sein will. „Es ist aber klar" — so heißt es bei Kant —, „daß, da wir es nur mit dem Mannigfaltigen unserer Vorstellungen zu tun haben und jenes X, was ihnen korrespondiert (der Gegenstand), weil er etwas von allen unseren Vorstellungen Unterschiedenes sein soll, für uns nichts ist, die Einheit, welche der Gegenstand notwendig macht, nichts anderes sein könne, als die formale Einheit des Bewußtseins in der Synthesis des Mannigfaltigen der Vorstellungen. Alsdann sagen wir: wir erkennen den Gegenstand, wenn wir in dem Mannigfaltigen der Anschauung synthetische Einheit bewirkt haben." Der Gegenstand wird also nicht dadurch erreicht und erkannt, daß wir von den empirischen Bestimmungen zu dem, was nicht mehr empirisch ist, zum Absoluten und Transzendenten, hinausgehen, sondern dadurch, daß wir die Gesamtheit der Beobachtun-

gen und der in der Erfahrung gegebenen Maßbestimmungen zu einem in sich geschlossenen Ganzen vereinen. Die Relativitätstheorie zeigt die ganze Komplexion, die in dieser Aufgabe liegt; aber um so energischer hält sie an der Forderung der Möglichkeit eines solchen Zusammenschlusses fest und weist einen neuen Weg, ihr zu genügen. Die klassische Mechanik hatte hier zu früh geglaubt am Ziele zu sein. Sie klammerte sich an bestimmte Bezugskörper, an denen sie auf irgend eine Weise endgültige und allgemeine, also schlechthin „objektive" Maße zu besitzen glaubte. Für die neue Theorie liegt dagegen die wahre Objektivität nirgends mehr in empirischen Bestimmtheiten, sondern nur in der Art und Weise, in der Funktion der Bestimmung selbst. Die Raum- und Zeitmaße in jedem einzelnen System bleiben relativ: aber die Wahrheit und Allgemeinheit, die der physikalischen Erkenntnis nichtsdestoweniger erreichbar ist, besteht darin, daß alle diese Maße sich wechselseitig entsprechen und einander nach bestimmten Regeln zugeordnet sind. Mehr vermag freilich das Wissen nicht zu leisten; aber mehr kann es auch, wenn es sich nur selbst versteht, nicht fordern. Die Gesetze des Geschehens ohne alle Relation zu irgend einem Bezugssystem erkennen zu wollen, ist ein unvollziehbares und widerspruchsvolles Verlangen: — nur das kann gefordert werden, daß der Inhalt dieser Gesetze von der Individualität des Bezugssystems nicht abhängig ist. Eben diese Unabhängigkeit vom zufälligen Standort des Beobachters meinen wir, wenn wir von dem in sich bestimmten Gegenstand der „Natur" und von in sich bestimmten „Naturgesetzen" sprechen. Die Messung in einem System, oder selbst in einer unbeschränkten Vielheit irgendwelcher „berechtigter" Systeme, würde schließlich immer nur Einzelheiten, nicht aber die echte „synthetische Einheit" des Gegenstandes ergeben. Die Relativitätstheorie lehrt uns zunächst in den Gleichungen der Lorentz-Transformation und sodann in den weitergehenden Substitutionsformeln der allgemeinen Theorie, wie von jeder dieser Einzelheiten immer wieder zu einem bestimmten Ganzen, zu einem Inbegriff invarianter Bestimmungen zu gelangen ist. Der Anthropomorphismus des natürlichen sinnlichen Weltbildes, dessen Überwindung die eigentliche Aufgabe der physikalischen Erkenntnis ist[1]), wird hier abermals um einen Schritt weiter zurückgedrängt. Die mechanische Weltansicht glaubte ihn besiegt zu haben, indem sie alles Sein und Geschehen in Bewegungen auflöste und damit an

---

[1]) Vgl. Planck [66] S. 6 ff. und [67] S. 74.

Stelle der qualitativen Elemente der Empfindung überall reine Größenwerte setzte. Aber jetzt zeigt sich, daß eben die Bestimmung dieser Werte selbst, daß die Maße, die sie für die Bewegungen anwendet, noch an gewisse einschränkende Voraussetzungen gebunden blieben. Aus der Reflexion darüber, wie wir zu empirischen Raum- und Zeitmaßen gelangen, ergibt sich, wie der „Anthropomorphismus" bis in dieses Gebiet hineinragt, das man ihm prinzipiell entzogen glaubte. Es ist gleichsam dieser Erdenrest, der auch der klassischen Mechanik mit ihrer Voraussetzung endlicher starrer Bezugskörper und ruhender Inertialsysteme noch anhaftete, von dem die Relativitätstheorie sich zu lösen trachtet. Die gedachte, durch ein System mathematischer Gleichungen bestimmte Einheit der Verknüpfung tritt hier an Stelle jeder sinnlich gegebenen und immer auch sinnlich bedingten Maßeinheit. Wie man sieht, handelt es sich dabei nicht um eine Aufhebung, sondern um eine kritische Berichtigung des empirischen Begriffs der Objektivität, die durch eine Berichtigung unserer empirischen Raum- und Zeitmaße und ihre Umrechnung in das e i n e System der Naturgesetze gewonnen wird.

Zu dem gleichen sachlichen Ergebnis führt uns die Betrachtung der geschichtlichen Problemlage, aus der heraus die Relativitätstheorie erwachsen ist. Immer wieder hatte man versucht, den Sätzen der abstrakten Mechanik, insbesondere dem Trägheitssatz, eine bestimmte physikalische Bedeutung zu geben, indem man irgendwelche empirische Systeme aufzuweisen suchte, für die sie strenge Geltung besitzen sollten. Aber alle diese Versuche waren insbesondere seit der Entdeckung der Eigenbewegung des Sonnensystems und der Eigenbewegung der Fixsterne gescheitert: es blieb nichts übrig, als mit Carl Neumann einen absolut ruhenden Körper *α* an irgendeiner, uns unbekannten Stelle des Weltraums zu p o s t u l i e r e n, um den Gleichungen der Galilei-Newtonschen Mechanik einen festen und klaren empirischen Sinn abzugewinnen. Aber ein solches Existenzpostulat für einen einzelnen physischen, durch Beobachtung niemals feststellbaren Gegenstand war und blieb vom erkenntnistheoretischen Standpunkt aus die seltsamste Anomalie (vgl. 8, S. 238 ff.). Auch der absolut ruhende Lichtäther, der eine zeitlang das fehlende physikalische Bezugssystem der Galilei-Newtonschen Mechanik ersetzen zu können schien, zeigte sich dieser Aufgabe nicht gewachsen: seit dem negativen Ausfall des Michelsonschen Versuchs schien die Frage auch nach dieser Richtung hin

entschieden zu sein. An diesem Punkte setzt, wie sich zeigte, die Relativitätstheorie ein. Sie macht gleichsam aus der Not, in welche das physikalische Denken in seinen Versuchen, ein einzelnes privilegiertes Koordinatensystem zu finden, geraten war, eine Tugend. Die Erfahrung hatte gelehrt, daß es ein derartiges System nicht gibt — die Theorie stellt es, in ihrer allgemeinsten Fassung, als Forderung auf, daß es ein solches nicht geben k a n n und nicht geben d a r f. Jetzt wird es zum P r i n z i p erhoben, daß für die physikalische Beschreibung der Naturvorgänge kein besonderer Bezugskörper vor dem anderen ausgezeichnet sein soll. „Sowohl in der klassischen Mechanik, wie in der speziellen Relativitätstheorie — heißt es bei Einstein — unterscheidet man zwischen Bezugskörpern K, relativ zu denen die Naturgesetze gültig sind, und zwischen Bezugskörpern K, relativ zu welchen die Naturgesetze nicht gelten. Mit dieser Sachlage kann sich aber kein konsequent denkender Mensch zufrieden geben. Er fragt: Wie ist es möglich, daß gewisse Bezugskörper (bezw. deren Bewegungszustände) von anderen Bezugskörpern (bezw. deren Bewegungszuständen) ausgezeichnet sind? Vergeblich suche ich in der klassischen Mechanik (bezw. in der speziellen Relativitätstheorie) nach einem realen Etwas, auf das ich das verschiedene Verhalten der Körper gegenüber den Bezugssystemen K und K' zurückführen könnte“ (18, S. 49). Mit dieser Argumentation aus dem Prinzip des — unzureichenden Grundes scheint sich freilich der Physiker auf einem schlüpfrigen Boden zu bewegen. Unwillkürlich erinnert man sich hier der Deduktion E u l e r s, der das Trägheitsprinzip der klassischen Mechanik damit zu b e w e i s e n glaubte, daß er ausführte, es lasse sich, wenn ein Körper seinen Bewegungszustand von selbst und ohne Einwirkung äußerer Kräfte ändere, kein Grund dafür anführen, warum er bestimmte Richtungs- und Größenänderungen seiner Geschwindigkeit irgendwelchen anderen vorzöge (23). Der Zirkel, der hier begangen wird, daß nämlich der „Bewegungszustand“ eines Körpers als eine eindeutig bestimmte Größe vorausgesetzt wird, während er als solche erst durch den Trägheitssatz selbst d e f i n i e r t wird, ist leicht ersichtlich. In der Einsteinschen Berufung auf den „Satz vom Grunde“ wirkt indessen zweifellos ein allgemeineres und tieferes erkenntnistheoretisches Motiv mit. Nehmen wir an, daß die letzten objektiven Bestimmungen, zu denen unsere physikalische Erkenntnis gelangen kann, daß die Naturgesetze immer nur für bestimmte bevorrechtigte Bezugssysteme, nicht aber für andere, erweislich und gültig wären:

— so könnten wir, da andererseits die Erfahrung uns keinerlei sicheres Kriterium dafür darbietet, daß wir ein solches bevorzugtes Bezugssystem vor uns haben, auch niemals zu einer wahrhaft allgemein gültigen und eindeutigen Beschreibung der Naturvorgänge gelangen. Diese wird vielmehr nur dann möglich sein, wenn sich irgendwelche Bestimmungen aufweisen lassen, die sich gegenüber jeder Änderung des zu Grunde gelegten Bezugssystems gleichgültig verhalten. Wir dürfen eben nur diejenigen Beziehungen Naturgesetze nennen, d. h. ihnen objektive Allgemeinheit zusprechen, deren Gestalt von der Besonderheit unserer empirischen Messung, von der speziellen Wahl der vier Veränderlichen x_1 x_2 x_3 x_4, die den Raum- und Zeitparameter ausdrücken, unabhängig ist. In diesem Sinne könnte man den Grundsatz der allgemeinen Relativitätstheorie, daß die allgemeinen Naturgesetze bei ganz beliebigen Transformationen der Raum-Zeit-Variablen ihre Form nicht ändern, geradezu als eine analytische Behauptung: als eine Erklärung darüber, was unter einem „allgemeinen" Naturgesetz verstanden werden soll, auffassen: — synthetisch ist jedoch die Forderung, daß es solche letzten Invarianten überhaupt geben müsse.

In der Tat läßt sich zeigen, daß der allgemeine Gedanke der Invarianz und Eindeutigkeit bestimmter Werte, der von der Relativitätstheorie an die Spitze gestellt wird, in irgend einer Form in jeder Theorie der Natur wiederkehren muß, weil er zum logischen und erkenntnistheoretischen Grundbestand einer solchen Theorie gehört. Gehen wir etwa von dem Weltbild der allgemeinen Energetik aus — so hat schon Leibniz, als er das Gesetz der „Erhaltung der lebendigen Kraft" als universelles Naturgesetz aufstellte, auf dieses logische Moment in ihm hingewiesen. Er bestimmt zunächst die lebendige Kraft eines physikalischen Systems als Arbeitsgröße; er setzt fest, daß Kräfte „gleich" heißen sollen, wenn sie imstande sind, dieselbe mechanische Arbeit, gleichviel wie sie im einzelnen beschaffen sein mag, zu verrichten; wenn sie also eine gleiche Zahl elastischer Federn auf den gleichen Grad der Spannung bringen, ein gleiches Gewicht auf dieselbe Höhe erheben, einer gleichen Zahl von Körpern dieselbe Größe der Geschwindigkeit erteilen können u. s. f. In dieser Definition werde freilich vorausgesetzt, daß die Schätzung der lebendigen Kräfte nach verschiedenen Maßsystemen einander äquivalente Ergebnisse liefern werde, daß also Kräfte, die sich, gemessen an einem bestimmten Wirkungseffekt, als gleich oder als in gewissem Verhältnis größer oder kleiner erweisen, dasselbe

Verhältnis auch dann bewahren, wenn man eine beliebige andere Wirkung zu ihrer Messung benutzt. Wäre dies nicht der Fall — so fügt Leibniz hinzu — und ergäbe sich vielmehr je nach der verschiedenen Wirkung, die man als Maß zu Grunde legt, ein jeweilig verschiedenes Kräfteverhältnis, so würde die Natur der Gesetze entbehren; — die gesamte Wissenschaft der Dynamik würde hinfällig werden; es wäre nicht möglich, Kräfte zu schätzen, ja die Kraft selbst würde zu etwas Unbestimmtem und Widerspruchsvollem (quiddam vagum et absonum) werden (42, III, 208 ff.; VI, 209 f.; vgl. 5, S. 305 ff.). Der gleiche Gedankengang hat sich bei der Entdeckung und Begründung des modernen Energieprinzips auf einer breiteren physikalischen Grundlage wiederholt. Auch hier wurde zunächst — z. B. von W. Thomson — die Energie eines materiellen Systems in einem bestimmten Zustand als der in mechanischen Arbeitseinheiten ausgedrückte Betrag aller Wirkungen definiert, welche außerhalb des Systems hervorgerufen werden, wenn dasselbe aus seinem Zustand auf beliebige Weise in einen bestimmten, übrigens willkürlich fixierbaren Nullzustand übergeht. Diese Erklärung läßt es zunächst noch völlig unentschieden, ob ein eindeutiger Wert dessen, was hier „Energie" genannt wird, überhaupt existiert, d. h. ob die Ergebnisse der Messung der Arbeitsgröße eines Systems gleich oder verschieden ausfallen, je nachdem man verschiedene Methoden der Überführung des Systems aus dem gegebenen Zustand in einen bestimmten Nullzustand verwendet. Daß aber diese Eindeutigkeit in der Tat besteht, daß sich immer derselbe Betrag der Energie ergibt, gleichviel, welche Wirkung wir als Arbeitsmaß verwenden und welchen Weg des Übergangs wir wählen: das eben ist es, was das Prinzip der Erhaltung der Energie behauptet. Dieses sagt nichts anderes aus und hat keinen anderen physikalisch faßbaren Sinn, als daß der in mechanischen Arbeitseinheiten gemessene Betrag aller Wirkungen, welche ein materielles System in seiner äußeren Umgebung hervorruft, wenn es aus einem bestimmten Zustand auf beliebige Weise in einen nach Willkür fixierten Nullzustand übergeht, einen eindeutigen Wert hat, also unabhängig von der Art des Überganges ist. Würde diese Unabhängigkeit nicht gelten — und daß sie gilt, darüber kann uns freilich nur die Erfahrung belehren — so gäbe es das, was wir hier „Energie" genannt haben, nicht als exakte physikalische Bestimmtheit — so wäre die Energie für uns keine allgemeine Maßkonstante. Wir müßten alsdann nach anderen empirischen

Werten suchen, die der prinzipiellen Forderung der Eindeutigkeit genügen. Aber auch umgekehrt gilt, daß, wenn einmal die Energie für uns als Maßkonstante festgestellt ist, sie damit für uns auch zur Naturkonstante, zum „Begriff von einem bestimmten Objekt" geworden ist. Jetzt läßt sich vom physikalischen Standpunkt aus unbedenklich eine „substantielle" Auffassung der Energie durchführen, läßt sie sich als eine Art „Vorrat" des physikalischen Systems ansehen, dessen Menge durch die Gesamtheit der Zustandsgrößen, die für das betreffende System charakteristisch sind, völlig bestimmt ist [1]). Vom erkenntnistheoretischen Gesichtspunkt aus muß hierbei freilich daran festgehalten werden, daß eine solche Deutung nicht mehr als ein bequemer Ausdruck für die allein bekannten Maßbeziehungen ist, ihnen selbst aber nichts Wesentliches hinzufügt. Die Einheit und Eindeutigkeit der Maßbestimmung läßt sich unmittelbar zugleich als Einheit und Eindeutigkeit der Objektbestimmung auffassen und aussprechen: — eben weil das empirische Objekt gar nichts anderes als einen gesetzlichen Inbegriff von Beziehungen besagt. Es ergibt sich aus dieser Analogie von neuem, daß der Fortschritt der Relativierung, der sich in der Relativitätstheorie vollzieht, keinerlei Gegensatz zur allgemeinen Aufgabe der Objektivierung, sondern vielmehr umgekehrt einen Schritt auf dem Wege zu ihr bedeutet — weil und sofern, nach der Eigenart des physikalischen Denkens, alle seine Erkenntnis von Objekten in nichts anderem als in der Erkenntnis objektiver Verhältnisse bestehen kann. „Was wir auch nur an der Materie kennen" — wir können auch hier die „Kritik der reinen Vernunft" zitieren —, sind lauter Verhältnisse, aber es sind darunter selbstständige und beharrliche, dadurch uns ein bestimmter Gegenstand gegeben wird" (34, S. 341). Diese „selbständigen und beharrlichen Verhältnisse" hat die allgemeine Relativitätstheorie an eine andere Stelle gerückt, indem sie ebensowohl den Begriff der Materie, den die klassische Mechanik, wie den Begriff des Äthers, den die Elektrodynamik ihr darbot, auflöste; aber sie hat sie als solche keineswegs bestritten, sondern vielmehr in ihren eigenen Invarianten, die gegenüber jedem Wechsel des Bezugssystems gleichgültig sind, aufs nachdrücklichste behauptet. Die Kritik, die die Relativitätstheorie an den von ihr vorgefundenen physikalischen Objektbegriffen geübt hat, entstammt somit der gleichen Methodik des naturwissenschaftlichen Denkens, die zur Aufstellung eben dieser Be-

[1]) Näheres hierzu bei Planck [63] S. 92 ff.



griffe geführt hat, und sie führt diese Methodik nur noch einen Schritt weiter, indem sie sich immer mehr von den Voraussetzungen der naiv-sinnlichen und naiv-dinglichen Weltansicht loslöst. Wir müssen, um diesen Sachverhalt in seiner vollen Schärfe zu erfassen, auf die allgemeinste Frage zurückgehen, die uns die Relativitätstheorie in erkenntnistheoretischer Hinsicht stellt: auf die Umformung des *Wahrheitsbegriffs der Physik*, die sie in sich schließt und durch die sie sich unmittelbar mit einem Fundamentalproblem der Logik berührt.

III.

DER PHILOSOPHISCHE WAHRHEITSBEGRIFF UND DIE RELATIVITÄTSTHEORIE.

Der allgemeine Satz von der Relativität der Erkenntnis hat seine vollständige systematische Durchführung zuerst in der Geschichte der antiken Skepsis erhalten. Hier besitzt er, gemäß dem Grundcharakter der Skepsis, ausschließlich negative Bedeutung: er bezeichnet die prinzipielle Schranke, die aller Erkenntnis gesetzt ist und durch die sie ein für allemal von der endgültigen Erfassung des Wahren, als des „Absoluten", geschieden bleibt. Unter den skeptischen „Tropen", die dazu bestimmt sind, die Unsicherheit der sinnlichen und der begrifflichen Erkenntnis zu erweisen, steht der Tropus des πρός τι an erster Stelle. Um den Gegenstand zu erkennen, müßte unser Wissen vor allem im Stande sein, ihn in seinem reinen „An sich" zu ergreifen und ihn von allen Bestimmungen, die ihm nur beziehentlich zu uns und beziehentlich zu anderen Dingen zukommen, abzulösen. Aber eben diese Ablösung ist nicht nur tatsächlich, sondern prinzipiell unmöglich. Denn was uns faktisch immer nur unter bestimmten Bedingungen gegeben ist, — von dem läßt sich auch logisch niemals ausmachen, was es an sich selbst und unter Abstraktion von eben diesen Bedingungen ist. So können wir insbesondere in dem, was wir die Wahrnehmung eines Dinges zu nennen pflegen, niemals den objektiven Dingbestandteil von dem subjektiven Wahrnehmungsbestandteil scheiden und beide als selbständige Faktoren einander gegenüberstellen. Die Form der subjektiven Organisation geht in all unsere sogenannte objektive Ding- und Eigenschaftserkenntnis als notwendiger Bestandteil ein. Das „Ding" erscheint demgemäß nicht nur den verschiedenen Sinnen selbst als ein Verschiedenes, sondern es ist auch für das gleiche Organ, je nach dem Zeitpunkt und den wechselnden Bedingungen der Wahrnehmung, ein grenzenlos Veränderliches. Denn all seine

4

Bestimmtheit hängt völlig von den Verhältnissen ab, unter denen es sich uns darstellt. Kein Inhalt ist uns in der Erfahrung unvermischt mit andern in identischer Bestimmtheit gegeben, sondern was sich uns darbietet, ist immer nur der allgemeine Zusammenfluß der Eindrücke. Nicht das eine oder andere, das „Dies" oder „Jenes" einer bestimmten Qualität, sondern nur die wechselseitige Beziehung des einen auf das andere, des anderen auf das eine, ist hier das allein Bekannte, ja das allein Kennbare.

Die moderne Wissenschaft hat die Einwände, die hier von Seiten der Skepsis gegen die Möglichkeit des Wissens vorgebracht werden, überwunden — nicht indem sie sie ihrem Inhalt nach bestritt, sondern indem sie aus ihnen eine völlig veränderte, ja entgegengesetzte logische Folgerung zog. Die Auflösung all dessen, was der naiven Weltansicht als feste und absolute „Eigenschaft" der Dinge gilt, in einen Inbegriff bloßer Relationen, nimmt auch die moderne Naturwissenschaft an. „Was die Eigenschaften der Objekte der Außenwelt betrifft" — so heißt es z. B. in Helmholtz' Handbuch der physiologischen Optik —, so zeigt eine leichte Überlegung, daß alle Eigenschaften, die wir ihnen zuschreiben können, nur Wirkungen bezeichnen, welche sie entweder auf unsere Sinne oder auf andere Naturobjekte ausüben. Farbe, Klang, Geschmack, Geruch, Temperatur, Glätte, Festigkeit gehören der ersteren Klasse an, sie bezeichnen Wirkungen auf unsere Sinnesorgane. Die chemischen Eigenschaften beziehen sich ebenfalls auf Reaktionen, d. h. Wirkungen, welche der betrachtete Naturkörper auf andere ausübt. Ebenso ist es mit den anderen physikalischen Eigenschaften der Körper, den optischen, elektrischen, magnetischen. Überall haben wir es mit Wechselbeziehungen verschiedener Körper aufeinander zu tun, mit Wirkungen aufeinander, welche von den Kräften abhängen, die verschiedene Körper aufeinander ausüben. . . . Daraus geht nun hervor, daß in Wahrheit die Eigenschaften der Naturobjekte trotz dieses Namens gar nicht dem einzelnen Objekte an und für sich Eigenes bezeichnen, sondern immer eine Beziehung zu einem zweiten Objekte (einschließlich unserer Sinnesorgane) bezeichnen. Die Art der Wirkung muß natürlich immer von den Eigentümlichkeiten sowohl des wirkenden Körpers abhängen, als von denen des Körpers, auf welchen gewirkt wird. . . Die Frage zu stellen, ob der Zinnober wirklich rot sei, wie wir ihn sehen, oder ob dies nur eine sinnliche Täuschung ist, ist deshalb sinnlos. Die Empfindung von Rot ist die normale Reaktion normal

gebildeter Augen für das von Zinnober reflektierte Licht. Ein Rotblinder wird den Zinnober schwarz oder dunkelgraugelb sehen; auch dies ist die richtige Reaktion für sein besonders geartetes Auge. . . An sich ist die eine Empfindung nicht richtiger und nicht falscher als die andere . . ." (*30*, S. 588 f.) Der alte skeptische Tropus, das Argument des πρός τι, steht hier wieder in aller Schärfe vor uns. Aber der Verzicht auf die Absolutheit der Dinge schließt freilich keineswegs mehr den Verzicht auf die Objektivität der Erkenntnis in sich. Denn das wahre Objektive sind der modernen Naturerkenntnis nicht sowohl die Dinge, als vielmehr die Gesetze. Die Veränderung innerhalb der Erfahrungselemente und die Tatsache, daß jedes einzelne von ihnen niemals an sich, sondern immer nur in Beziehung auf andere gegeben ist, bildet daher keinerlei Einwand gegen die Möglichkeit objektiv-realer Erkenntnis, sofern nur die Gesetze eben dieser Beziehungen selbst feststehen. Die Konstanz und Absolutheit der Elemente wird preisgegeben, um dafür die Beständigkeit und Notwendigkeit der Gesetze zu gewinnen. Haben wir uns der letzteren versichert, so bedürfen wir der ersteren nicht mehr. Dem Einwand der Skepsis, daß wir die absoluten Eigenschaften der Dinge niemals zu erkennen vermögen, begegnet jetzt die Wissenschaft damit, daß sie den Begriff der Eigenschaft so definiert, daß er den Begriff der Beziehung in sich schließt. Der Zweifel wird hier dadurch besiegt, daß er überboten wird. Ist einmal eingesehen, daß „Blau" uns gar nichts anderes bedeuten kann, als eine Beziehung auf ein sehendes Auge, daß „schwer" nichts anderes, als ein Verhältnis der wechselseitigen Beschleunigung besagt und daß allgemein alles „Haben" von Eigenschaften sich rein und vollständig in ein „Sich-Verhalten" der Erfahrungselemente auflöst — so verliert die Sehnsucht, letzte absolute Qualitäten der Dinge zu erfassen, die der Skepsis insgeheim zugrunde lag, ihren Sinn. Die Skepsis wird abgewiesen, nicht indem ein Weg zur möglichen Erfüllung ihrer Forderungen aufgezeigt wird, sondern indem der dogmatische Gehalt eben dieser Forderungen selbst durchschaut und damit unwirksam gemacht wird.

In dieser Umformung des allgemeinen Erkenntnisideals wirken die moderne Wissenschaft und die moderne Logik zusammen: und der Gang der einen steht hier mit dem der anderen in genauester Verbindung. Die antike Logik ist ganz auf das Verhältnis von „Subjekt" und „Prädikat", auf das Verhältnis des gegebenen Begriffs zu seinen ebenfalls gegebenen und festen Merkmalen gestellt.

Sie sucht letzten Endes absolute und wesentliche Merkmale an absoluten für sich seienden Substanzen zu erfassen. Die moderne Logik lernt dagegen im Lauf ihrer Entwicklung mehr und mehr auf dieses Ideal verzichten, um sich statt dessen zu einer reinen Formen- und Beziehungslehre zu gestalten. In der Gesetzlichkeit dieser Formen, die für sie keineswegs in bloße Subsumtionsverhältnisse aufgehen, sondern die alle verschiedenen Arten und Möglichkeiten der relativen Setzung und der relativen Verknüpfung von Denkelementen gleichmäßig umfassen, ist für sie die Möglichkeit jeder Bestimmtheit des gedachten Inhalts gegründet. Hier aber muß freilich der Zweifel sofort in einem neuen und tieferen Sinne einsetzen. Wenn die Dingerkenntnis sich selbst als Gesetzeserkenntnis versteht und wenn sie sich in ihr zu begründen und vor den Angriffen der Skepsis sicher zu stellen versucht: — was versichert uns der Objektivität, der Wahrheit und Allgemeinheit der Gesetzeserkenntnis selbst? Haben wir überhaupt im strengen Sinne Erkenntnis von Gesetzen — oder geht nicht vielmehr alles, was wir im günstigsten Falle gewinnen können, in der Erkenntnis einzelner Fälle auf? Hier kehrt sich, wie man sieht, auf der neuen Basis des modernen Gesetzesbegriffs, das Problem der Skepsis um. Was den antiken Skeptiker, der auf die Substanz der Dinge ausging, ängstigte, das war die grenzenlose Relativität aller Erscheinungen: das war die Tatsache, daß sie als einzelne feste Gegebenheiten nicht beharren wollten, sondern sich dem Wissen immer wieder in bloße Beziehungen und in Beziehungen von Beziehungen auflösten. Für den modernen Skeptiker aber, dem objektive Wahrheit, sofern sie erreichbar wäre, eben das einheitliche allumfassende und notwendige Gesetz alles Geschehens bedeuten würde, liegt der Grund des Zweifels gerade umgekehrt darin, daß uns die Wirklichkeit niemals in dieser allgemeinen gedanklichen Form, sondern nur zerteilt und zerschlagen in lauter punktuelle Einzelheiten gegeben ist. Wir erfassen immer nur ein Hier und Jetzt, nur eine einzelne räumlich und zeitlich isolierte Bestimmung — und es ist nicht abzusehen, wie wir von dieser Anschauung des Einzelnen und der Einzelnen jemals zur Anschauung einer objektiven Form des Ganzen gelangen können. So wenig sich aus der Summierung bloßer ausdehnungsloser Punkte je das Kontinuum aufbauen und erzeugen läßt: so wenig kann ein wahrhaft objektives und notwendiges Gesetz aus der einfachen Aneinanderreihung noch so vieler Einzelfälle erreicht und abgeleitet werden. Das ist die Form der Hume'schen Skepsis, die sich charak-

teristisch von der der Antike unterscheidet. Während der antike Skeptiker vor lauter Relativitäten, in die ihn die Erscheinungswelt verstrickte, nicht zum Absoluten der Substanz gelangte, gelangt der moderne Skeptiker vor lauter absoluten Einzelbestimmungen der Empfindung nicht zu den Gesetzen als universellen Relationen. Wie dort die Sicherheit der Dinge, so wird hier die Sicherheit der kausalen Zusammenhänge fraglich. Die Verknüpfung des Geschehens wird zur Illusion — was vom Geschehen übrig bleibt, sind nur seine einzelnen Atome, sind die unmittelbaren Gegebenheiten der Empfindung, in welchen alles Wissen von „Tatsachen", vom «matter of fact», zuletzt besteht.

Soll es möglich sein, auch diese wesentlich radikalere Form der Skepsis zu überwinden, so kann dies nur dadurch geschehen, daß auch in ihr eine verborgene dogmatische Voraussetzung aufgewiesen wird, die sie implizit zugrunde legt. Und diese Voraussetzung liegt in der Tat in ihrem Begriff der empirischen „Gegebenheit" selbst. Eben jene Gegebenheit der „bloßen" Impressionen, in denen von allen Form- und Verknüpfungsmomenten prinzipiell abgesehen werden soll, erweist sich für die schärfere Analyse als Fiktion. Ist dies einmal eingesehen, so richtet sich der Zweifel nun, statt gegen die Möglichkeit der Erkenntnis selbst, vielmehr gegen die Möglichkeit des logischen Maßstabes, mit dem hier die Erkenntnis ausgemessen werden soll. Statt daß das Kriterium der „Impression" die allgemeinen Formbeziehungen des Wissens und seine logische Axiomatik fraglich und verdächtig machte, wird jetzt auf Grund eben dieser Beziehungen, die Gültigkeit dieses Kriteriums bestritten werden müssen. Die einzige Rettung vor dem radikalen Zweifel liegt somit auch hier darin, daß er nicht beiseite geschoben, sondern vielmehr noch verschärft wird: daß wir nicht nur gegen die „Dinge" und gegen die „Gesetze", sondern vor allem auch gegen die Empfindungen selbst, als die angeblich letzten, an sich bekannten und für sich verständlichen Elemente des Wissens fragen lernen. Auch die Skepsis Humes läßt die „einfache" Empfindung noch als völlig unproblematische Gewißheit, als den schlichten und fraglosen Ausdruck der „Wirklichkeit" stehen. Wie die antike Skepsis ganz und gar auf der stillschweigenden Annahme der absoluten Dinge beruhte, so beruht sie auf der Annahme der absoluten Empfindungen. Die Hypostasierung betrifft in dem einen Fall das „äußere", in dem andern das „innere" Sein: aber ihre allgemeine Form bleibt die gleiche. Und erst durch diese Hypostasierung erhält nun der Ge-

danke der Relativität der Erkenntnis seinen skeptischen Einschlag. Der Zweifel geht nicht unmittelbar aus dem Inhalt dieses Gedankens hervor, sondern er beruht umgekehrt darauf, daß er nicht wahrhaft und folgerecht zu Ende gedacht wird. Solange das Denken sich damit begnügt, im Hinblick auf die Erscheinungen und gemäß den Forderungen seiner eigenen gesetzlichen Form, seiner logischen Axiomatik, die Wahrheit als ein System reiner Beziehungen zu entwickeln; solange bewegt es sich, innerhalb seines Kreises, mit vollendeter Sicherheit. Aber in dem Augenblick, da es irgendein Absolutes, sei es der äußeren, sei es der inneren Erfahrung, zuläßt und behauptet, muß es sich diesem gegenüber selbst skeptisch vernichten. Immer wieder stößt es jetzt auf dieses Absolute der Dinge oder der Empfindungen, wie auf die Wand des Kerkers, in den es eingeschlossen ist. Die Relativität, die im Grunde seine immanente Kraft ausmacht, wird nun zu seiner immanenten Schranke. Sie erscheint nicht mehr als das Prinzip, das den positiven Fortgang der Erkenntnis ermöglicht und regelt, sondern nur noch als ein Notbehelf des Denkens, das eben damit bekennt und zugesteht, dem Sein, dem absoluten Gegenstand und der absoluten Wahrheit, nicht gewachsen zu sein.

Anders freilich stellt sich dies Verhältnis dar, sobald dem dogmatischen wie dem skeptischen Wahrheitsbegriff, die beide noch in einer gemeinsamen Wurzel zusammenhängen, der idealistische Wahrheitsbegriff entgegentritt. Denn dieser mißt die Wahrheit der Grunderkenntnisse nicht mehr an irgendwelchen transzendenten Objekten, sondern er gründet umgekehrt die Bedeutung des Gegenstandsbegriffs auf die Bedeutung des Wahrheitsbegriffs. Jetzt erst wird jene Auffassung, die das Erkennen zum A b b i l d e n, sei es der absoluten Dinge, sei es der unmittelbar gegebenen „Impressionen", macht, endgültig überwunden. Die „Wahrheit" der Erkenntnis wandelt sich aus einem bloßen Bildausdruck zum reinen Funktionsausdruck. In der Geschichte der modernen Philosophie und der modernen Logik stellt sich diese Wendung in voller Klarheit zuerst bei L e i b n i z dar, wenngleich hier der neue Grundgedanke noch in der Fassung des metaphysischen Systems, in der Sprache des monadologischen Weltbildes, erscheint. Jede Monade ist mit all den Inhalten, die sie in sich faßt, eine völlig geschlossene Welt, die kein äußeres Sein abbildet oder widerspiegelt, sondern lediglich nach eigenem Gesetz das Ganze ihrer Vorstellungsinhalte umfaßt und regelt; aber alle diese verschiedenen individuellen Welten drücken

nichtsdestoweniger ein gemeinsames Universum und eine gemeinsame Wahrheit aus. Diese Gemeinsamkeit aber kommt nicht dadurch zustande, daß alle diese verschiedenen Weltbilder sich zueinander wie die Kopien eines gemeinsamen „Originals" verhalten, sondern daß sie in ihren inneren Beziehungen und in der allgemeinen Form ihres Aufbaus einander funktional entsprechen. Denn eine Sache drückt, nach Leibniz, eine andere aus, wenn eine beständige und geregelte Beziehung zwischen dem besteht, was sich von der einen und von der andern aussagen läßt. So drückt eine perspektivische Projektion ihr zugehöriges geometrisches Gebilde, so drückt eine algebraische Gleichung eine bestimmte Figur, ein zeichnerisches Modell eine Maschine aus: — nicht als ob zwischen dem einen und dem andern irgendeine sachliche Gleichheit oder Ähnlichkeit bestünde, sondern in dem Sinne, daß die Verhältnisse des einen Gebildes denen des andern entsprechen und ihnen in begrifflich eindeutiger Weise zugeordnet sind (43, VII, 263 f., 44, II, 233; vgl. 7, II, 167). Diesen Leibnizischen Wahrheitsbegriff hat Kant aufgenommen und weiter verfolgt, indem er ihn zugleich von allen unbewiesenen metaphysischen Voraussetzungen, die noch in ihm enthalten waren, zu befreien und abzulösen versuchte. Auf diesem Wege ist er zu seiner eigenen Fassung des kritischen Gegenstandsbegriffs gelangt, in welchem nun die Relativität der Erkenntnis in einer weit umfassenderen Bedeutung, als in der antiken und in der modern-empiristischen Skepsis behauptet wird, in welcher aber zugleich dieser Relativität ein neuer positiver Sinn abgewonnen wird. Diesem Sinne fügt sich auch die Relativitätstheorie der modernen Physik ohne Schwierigkeit ein, denn sie ist in allgemein erkenntnistheoretischer Hinsicht eben dadurch bezeichnet daß in ihr, bewußter und klarer als je zuvor, der Fortgang von der Abbildtheorie der Erkenntnis zur Funktionstheorie sich vollzieht. Solange die Physik an der Forderung des absoluten Raumes festhielt, solange hatte die Frage, welche der verschiedenen Bahnkurven eines bewegten Körpers, die sich ergeben, wenn man ihn von verschiedenen Bezugssystemen aus betrachtet, seine eigentliche und „wahre" Bewegung darstelle, noch einen bestimmten Sinn — und ebenso mußte hier für bestimmte räumliche und zeitliche Maßwerte, die vom Standpunkt gewisser ausgezeichneter Systeme aus gelten, ein höherer objektiver Wahrheitswert als für andere in Anspruch genommen werden. Die Relativitätstheorie wagt es, auf diese Ausnahmestellung zu verzichten; nicht als ob sie auf die Forderung der

eindeutigen Bestimmtheit des Geschehens verzichten könnte und wollte, sondern weil sie über neue gedankliche Mittel verfügt, um dieser Forderung zu genügen. Die unendliche Mannigfaltigkeit möglicher Systeme ist mit der unendlichen Vieldeutigkeit der in ihnen zu ermittelnden Maßwerte nicht gleichbedeutend — sofern alle diese Systeme durch eine gemeinsame Regel aufeinander bezogen und miteinander verknüpft sind. In dieser Hinsicht hat das Relativitätsprinzip der Physik mit dem des „relativistischen Positivismus", mit welchem man es verglichen hat, kaum etwas anderes als — den Namen gemein. Wenn man in ihm eine Erneuerung der antiken Sophistik, eine Bestätigung des Protagoräischen Satzes, daß der Mensch das „Maß aller Dinge" sei, gesehen hat[1], so hat man darin gerade seine entscheidende Leistung verkannt. Denn nicht, daß jedem wahr sei, was ihm erscheint, will die physikalische Relativitätstheorie lehren, sondern umgekehrt warnt sie davor, Erscheinungen, die nur von einem einzelnen bestimmten System aus gelten, schon für Wahrheit im Sinne der Wissenschaft, d. h. für einen Ausdruck der umfassenden und endgültigen Gesetzlichkeit der Erfahrung zu nehmen. Diese wird weder durch die Beobachtungen und Messungen eines Einzelsystems, noch selbst durch diejenigen beliebig vieler solcher Systeme, sondern nur durch die wechselseitige Zuordnung der Ergebnisse a l l e r möglichen Systeme erreicht und gewährleistet. Auf welchem Wege wir zu Aussagen über diese Allheit gelangen können, auf welchem Wege wir uns von der Zersplitterung der Einzelansichten zu einer Gesamtanschauung des Geschehens erheben können, will die allgemeine Relativitätstheorie zeigen (s. oben S. 40 ff.). Sie verzichtet darauf, den „Gegenstand" der Physik durch irgendwelche sinnlich-bildlichen Eigenschaften, wie sie sich in der Vorstellung aufweisen lassen, zu bestimmen und bestimmt ihn statt dessen ausschließlich durch die Einheit der Naturgesetze. Wenn sie etwa lehrt, daß ein Körper, der von einem bestimmten System aus gesehen, Kugelgestalt besitzt, von einem anderen, relativ zu dem ersten bewegten, System aus als Rotationsellipsoid erscheint: so kann freilich die Frage nicht mehr aufgeworfen werden, welches der beiden hier gegebenen optischen Bilder der absoluten Form des Gegenstandes gleicht; wohl aber kann und muß verlangt werden, daß die Mannigfaltigkeit und Verschiedenheit der hier auftretenden sinnlich-anschaulichen Data sich in einen a l l g e m e i n e n E r f a h r u n g s b e g r i f f ver-

[1] Vgl. P e t z o l d t [*61*].

einen lasse. Mehr wird von dem kritischen Wahrheits- und Gegenstandsbegriff nicht gefordert. Nach der kritischen Grundansicht ist der Gegenstand kein absolutes Urbild, dem unsere sinnlichen Vorstellungen, als seine Abbilder mehr oder weniger entsprechen und gleichen, sondern er ist ein — „Begriff, worauf in Bezug Vorstellungen synthetische Einheit haben". Diesen Begriff stellt die Relativitätstheorie nicht mehr in irgend einer Bildform, sondern, als physikalische Theorie, in der Form von Gleichungen und Gleichungssystemen auf, die beliebigen Substitutionen gegenüber kovariant sind. Die Relativierung, die damit geleistet wird, ist selbst rein logischer und mathematischer Art. Durch sie wird freilich der Gegenstand der Physik als „Gegenstand in der Erscheinung" bestimmt; aber dieser Erscheinung haftet nichts mehr von subjektiver Willkür und subjektiver Zufälligkeit an. Denn die Idealität der Erkenntnisformen und Erkenntnisbedingungen, auf denen die Physik als Wissenschaft beruht, sichert und begründet zugleich die empirische Realität alles dessen, was durch sie als „Tatsache" und mit dem Wort objektiver Gültigkeit hingestellt wird.

IV.

MATERIE, ÄTHER, RAUM.

In jedem Aufbau der Physik scheinen wir zwei verschiedene Klassen von Begriffen voneinander unterscheiden zu müssen. Die eine Gruppe von Begriffen betrifft rein die Ordnungsform als solche, die andere den Inhalt, der in diese Form eingeht; die einen bezeichnen das allgemeine Grundschema der Verknüpfung, dessen sich die Physik bedient, die anderen gehen auf die besondere Bestimmtheit und Beschaffenheit des Realen, durch welche der physikalische „Gegenstand" bezeichnet wird. Was hierbei die reinen Formbegriffe betrifft, so scheinen sie, trotz allem Wandel der physikalischen Vorstellungen im einzelnen, als relativ feststehende Einheiten zu beharren. In aller Verschiedenheit und in allem Widerstreit der Systembegriffe der Physik heben sich Raum und Zeit als letzte übereinstimmende Grundeinheiten heraus. Sie scheinen auch in diesem Sinne das eigentliche Apriori für jede Physik und die Voraussetzung ihrer Möglichkeit als Wissenschaft zu bilden. Aber schon der erste Schritt, der uns von diesen bloßen Möglichkeiten zur Wirklichkeit weiterführt, der, statt auf die Bestimmung der räumlich-zeitlichen Form, auf die Bestimmung des Etwas geht, das im Raume und in der Zeit irgendwie als „gegeben" gedacht wird, scheint uns aus dem Kreis der Apriorität ein für allemal hinauszudrängen. Kant hat allerdings in den „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft" eine apriorische Ableitung und Konstruktion auch des Begriffs der „Materie", als notwendigen Grundbegriffs der Physik, versucht: aber es ist leicht zu erkennen, daß diese Ableitung nicht mehr auf der gleichen Stufe steht und nicht mehr die gleiche Beweiskraft für sich in Anspruch nehmen kann, wie die transcendentale Ästhetik oder die Analytik des reinen Verstandes. Er selbst hat freilich geglaubt, in diesen Deduktionen noch eine philosophische Begründung der Voraussetzungen der Newtonischen Naturwissenschaft zu besitzen; aber wir erkennen

heute immer bestimmter, daß das, was er als solche ansah, in Wahrheit nicht mehr als eine philosophische Umschreibung eben dieser Voraussetzungen war. In der grundlegenden Bestimmung des physikalischen Gegenstandsbegriffes bedeutet uns das klassische System der Mechanik nur noch ein Bild, dem andere Bilder gleichberechtigt zur Seite stehen. Heinrich Hertz hat in seiner Neubegründung der mechanischen Prinzipien drei solcher Bilder unterschieden: das erste ist in dem Newtonischen System gegeben, das die Begriffe des Raumes, der Zeit, der Kraft und der Masse als gegebene Vorstellungen zu Grunde legt; das zweite läßt die Voraussetzungen des Raumes, der Zeit und der Masse ungeändert, ersetzt aber den Begriff der Kraft als der mechanischen „Ursache der Beschleunigung", durch den allgemeinen Begriff der Energie, die sich ihrerseits wieder in zwei verschiedene Formen, in potentielle und kinetische Energie spaltet. Auch hier haben wir also vier voneinander unabhängige Grundbegriffe, deren Beziehungen zueinander den Inhalt der Mechanik bilden sollen. Ein drittes Bild bietet sodann Hertz' eigene Gestaltung der Mechanik, in der der Begriff der Kraft oder der Energie als selbständige Grundvorstellung beseitigt ist und der Aufbau der Mechanik von nur drei voneinander unabhängigen Grundvorstellungen aus, von denen des Raumes, der Zeit und der Masse sich vollzieht. Der Kreis der begrifflichen Möglichkeiten könnte damit beschlossen und vollständig ausgemessen scheinen — wenn nicht die Relativitätstheorie das gegenseitige Verhältnis zwischen den reinen Formbegriffen und den physikalischen Gegenstands- und Substanzbegriffen wiederum auf einen neuen Ausdruck gebracht und damit das Problem nicht nur inhaltlich, sondern prinzipiell nochmals umgestaltet hätte. —

Der Einheitsbegriff der „Natur", dessen Feststellung die eigentliche methodische Aufgabe der Physik bildet, läßt, wie die Geschichte des physikalischen Denkens zeigt, doch immer noch einem Dualismus der Voraussetzungen Raum, der als solcher notwendig und unüberwindlich scheint. Schon in den ersten logischen Anfängen der eigentlichen Wissenschaft der Natur, die im griechischen Denken gegeben sind, tritt dieser Dualismus in voller Prägnanz und Klarheit hervor. Die antike Atomistik, die das erste klassische Muster eines begrifflich-wissenschaftlichen Weltbildes darstellt, kann das „Sein" der Natur nur dadurch beschreiben und in seiner Einheit festhalten, daß sie es aus zwei heterogenen Bestandteilen aufbaut. Ihre Anschauung und ihr Begriff der Natur ist auf den

Gegensatz des „Vollen" und des „Leeren" gegründet. Beide, das Volle und das Leere, erweisen sich für die Konstituierung des Gegenstandes der Physik als unentbehrliche Momente. Dem Sein des Atoms und der Materie, als dem παμπλῆρες ὄν tritt bei Demokrit das Nicht-Sein, das μὴ ὄν des leeren Raumes gegenüber: aber sowohl dieses Sein, wie dieses Nicht-Sein besitzt für ihn unumstrittene physikalische Wahrheit und somit unbezweifelbare physikalische Realität. Die Realität der B e w e g u n g wird erst vermöge dieser doppelten Voraussetzung verständlich: sie fiele dahin, wenn wir nicht auf der einen Seite den leeren Raum von der materiellen Raumerfüllung unterschieden, um andererseits beide dennoch, in unlöslicher Wechselbeziehung, als Grundbestandteile alles Naturgeschehens zu denken. Zu Beginn der neueren Zeit unternimmt D e s c a r t e s den Versuch, diese Zweiheit, die sich in den ersten Fundamenten des physikalischen Denkens zeigt, philosophisch zu überwinden. Vom Gedanken der Einheit des B e w u ß t s e i n s aus fordert er zugleich eine neue Einheit der N a t u r. Und diese gilt ihm nur als erreichbar, indem er den Gegensatz des „Vollen" und „Leeren", der „Materie" und der Ausdehnung fallen läßt. Das physische Sein des Körpers und das geometrische Sein der Ausdehnung bilden ein und denselben Gegenstand: die „Substanz" des Körpers geht in seinen räumlich-geometrischen Bestimmungen auf. Damit war ein neuer methodisch tiefer und fruchtbarer Ansatz der Physik gegeben, dem sich aber die konkrete Durchführung von Descartes' Physik nirgends gewachsen zeigte. Indem N e w t o n die hypothetischen und spekulativen Prämissen der Cartesischen Physik bekämpfte, schob er damit auch diesen Ansatz bei Seite. Sein Weltbild wurzelt wieder in der dualistischen Ansicht, die bei ihm noch verschärft zu Tage tritt und die schon seinem allgemeinen Grundgesetz der Natur und des Kosmos den Stempel aufdrückt. Auf der einen Seite steht der Raum als ein allgemeines Behältnis und Gefäß — auf der andern die Körper, die trägen und schweren Massen, die in ihn eintreten und die sich auf Grund eines universellen dynamischen Gesetzes ihre wechselseitige Stellung in ihm bestimmen. Die „Quantität der Materie" einerseits, die rein räumliche „Distanz", in der sich die einzelnen Massen voneinander befinden, auf der anderen Seite ergeben die allgemeine physikalische Wirkungsregel, nach welcher sich das All aufbaut. Nach einem weiteren „Warum", nach einem Grund dieser Regel zu fragen, hat Newton, als Physiker, stets abgelehnt. Sie stellte für ihn die ein-

heitliche mathematische Formel dar, die alles empirische Geschehen unter sich befaßte und damit der Aufgabe der exakten Erkenntnis der Natur vollständig genügte. Daß diese Formel in sich selber — in dem Ausdruck für die kosmischen Massen und in dem Ausdruck für deren Entfernung — noch zwei völlig verschiedene Bestandteile in sich barg, erschien hierbei als ein Umstand, der nicht mehr den Physiker, sondern nur noch den Metaphysiker und den spekulativen Naturphilosophen anging. Der Satz „Hypotheses non fingo" schnitt auch nach dieser Richtung hin jede weitere Untersuchung ab. Für Newton, wie für Demokrit, bilden die Materie und der Raum, das Volle und das Leere, die letzten für uns faßbaren, jedoch aufeinander in keiner Weise zurückführbaren, Elemente des Physischen — die Grund- und Bausteine aller Realität, weil sie, als gleichberechtigte und gleich notwendige Faktoren, in das oberste Bewegungsgestez, das die Erfahrung uns kennen lehrt, eingehen.

Stellt man dieser Anschauung das Weltbild der neueren und der neuesten Physik gegenüber, so ergibt sich die überraschende Tatsache, daß diese — zwar nicht in inhaltlicher, wohl aber in methodischer Hinsicht — wieder auf dem Wege zu Descartes begriffen scheint. Auch sie strebt von verschiedenen Seiten her zu einer Gesamtansicht hin, in welcher der Dualismus von „Raum" und „Materie" sich aufhebt, — in welcher beide nicht mehr als verschiedene Klassen physikalischer Objektbegriffe auftreten. Zwischen die „Materie" und den „leeren Raum" tritt jetzt, im Begriff des „Feldes", ein neuer Mittelbegriff: und er ist es, der fortan immer bestimmter und deutlicher als der eigentliche Ausdruck des physisch Realen, weil als der vollgültige Ausdruck der physikalischen Wirkungsgesetze erscheint. In diesem Begriff des Feldes hat die typische Denkweise der modernen Physik ihre erkenntnistheoretisch schärfste und deutlichste Ausprägung gewonnen. Jetzt vollzieht sich, von der Elektrodynamik her, eine fortschreitende Umbildung des Begriffs der Materie. Schon bei Faraday, der die Materie aus den „Kraftlinien" aufbaut, findet sich die Grundansicht ausgesprochen, daß sich das Kraftfeld nicht auf die Materie stützen müsse, sondern daß umgekehrt das, was wir Materie nennen, nichts anderes als Stellen eben dieses Feldes von besonderem ausgezeichneten Charakter seien[1]. Im Fortgang der Elektrodynamik befestigt sich sodann diese Ansicht und nimmt einen immer schärfe-

[1] Zu Faraday vgl. Buek [*4*, bes. S. 41 ff.]; s. auch Weyl [*83*, S. 142].

ren prinzipiellen Ausdruck an. Der Gedanke einer reinen „Feldphysik", die weder den bloßen unterschiedslosen Raum an sich, noch eine Materie an sich kennt, die nachträglich in diesen fertigen Raum eingeht, sondern die die Anschauung einer nach einem gewissen Gesetz bestimmten und gemäß ihm qualifizierten und differenzierten räumlichen Mannigfaltigkeit zu Grunde legt, setzt sich jetzt mehr und mehr durch. So wird z. B. von Mie eine allgemeinere Form der Elektrodynamik aufgestellt, auf Grund deren es möglich scheint, die Materie aus dem Felde zu konstruieren. Der Begriff einer neben dem elektromagnetischen Felde bestehenden und sich bewegenden Substanz erscheint in diesem Ansatz als entbehrlich. Das Feld bedarf gemäß der neuen Auffassung zu seiner Existenz nicht mehr der Materie als seines Trägers, sondern die Materie wird umgekehrt als eine „Ausgeburt des Feldes" betrachtet und behandelt. Es ist die letzte Konsequenz aus dieser Denkart, die sodann von der Relativitätstheorie gezogen wird. Auch für sie entfällt zuletzt der reale Unterschied zwischen einem „leeren" Raum und einer raumerfüllenden Substanz, ob man diese nun als Materie oder als Äther bezeichnen mag, weil sie beide Momente in ein und demselben Akt der methodischen Bestimmung umfaßt. In der Betrachtung und Analyse der inneren Maßverhältnisse der vierdimensionalen Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit ist uns, gemäß dem Grundgedanken der Einstein'schen Gravitationstheorie, zugleich das „Rätsel der Schwerkraft" erschlossen. Denn die 10 Funktionen $g_{\mu\nu}$ welche in der Bestimmung des Linienelements der allgemeinen Relativitätstheorie $ds^2 = \sum_1^4 g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$ ($\mu, \nu = 1, 2, 3, 4$) auftreten, stellen zugleich die 10 Komponenten des Gravitationspotentials der Einsteinschen Theorie dar. Es sind somit dieselben Bestimmungen, welche auf der einen Seite die metrischen Eigenschaften des vierdimensionalen Meßraumes, auf der anderen Seite die physikalischen Eigenschaften des Gravitationsfeldes bezeichnen und ausdrücken. Die raumzeitliche Veränderlichkeit der Größen $g_{\mu\nu}$ und das Auftreten eines solchen Feldes erweisen sich als äquivalente, nur im Ausdruck verschiedene Annahmen. Dadurch ist wiederum aufs deutlichste bezeichnet, daß die neue physikalische Anschauung weder von der Setzung eines „Raumes an sich", noch von der einer „Materie" oder einer „Kraft an sich" ausgeht: — daß sie Raum, Kraft und Materie als voneinander gesonderte physikalische Gegenstände überhaupt nicht mehr kennt, sondern daß es für sie

nur noch die Einheit bestimmter Funktionsverhältnisse gibt, die je nach dem Bezugssystem, in dem wir sie ausdrücken, eine verschiedene Bezeichnung erhalten. Alle Dynamik strebt jetzt danach, sich mehr und mehr in reine Metrik aufzulösen — wobei der Begriff der Metrik freilich gegenüber der Anschauung der klassischen Geometrie eine außerordentliche Erweiterung und Verallgemeinerung erfährt, indem die Maßbestimmungen der Euklidischen Geometrie nur als ein bestimmter Sonderfall innerhalb des Gesamtsystems der überhaupt möglichen Maßbestimmungen erscheinen. „Die Welt" — so heißt es bei Weyl, in dessen Darstellung der allgemeinen Relativitätstheorie man diese Entwicklung am deutlichsten verfolgen und überschauen kann — „ist eine (3+1) = dimensionale metrische Mannigfaltigkeit; alle physikalischen Erscheinungen sind Äußerungen der Weltmetrik. . . Der Traum des Descartes von einer rein geometrischen Physik scheint in wunderbarer, von ihm selbst freilich gar nicht vorauszusehender Weise in Erfüllung zu gehen" (83, S. 244; vgl. S. 85 ff., 170 ff.).

Und wie hier der Dualismus von Materie und Raum zu Gunsten einer einheitlichen physikalischen Auffassung zurücktritt, so ist es auf der anderen Seite die Gegensätzlichkeit zwischen „Materie" und „Kraft", die durch das Prinzip und Grundgesetz der neuen Physik zur Aufhebung kommen soll. Seit Newton diesen Gegensatz zwischen der „trägen Masse" und den Kräften, die an sie angreifen, in den „Mathematischen Prinzipien der Naturlehre" als Physiker aufgestellt hatte, hatte es freilich nicht an Versuchen gefehlt, ihn von der philosophisch-spekulativen Seite her zu überwinden. Leibniz geht hier voran: aber wenngleich er in seiner Metaphysik die Substanz rein und vollständig in die Kraft auflöst, so bleibt doch auch er in der Gestaltung seiner Dynamik bei der Zweiheit einer „tätigen" und einer „leidenden" Kraft stehen, wobei die Materie unter den Begriff dieser letzteren subsumiert wird. Das Wesen der Materie besteht in dem ihr innewohnenden dynamischen Prinzip; aber dieses selbst äußert sich auf der einen Seite im Tun und im Streben nach Veränderung, auf der anderen Seite in dem Widerstand, den ein Körper seiner Natur nach einer von außen kommenden Veränderung entgegensetzt[1]. Was Newton betrifft, so droht bei ihm der Gegensatz, den er in die grundlegenden Begriffe aufgenommen hatte, zuletzt geradezu die Einheit seines physikalischen Weltbildes zu zerstören; — er kann sie nur dadurch aufrecht erhalten, daß er

[1] Vgl. [44], I, 204, 267 ff., 332 II, 290 ff., 303.

an einer bestimmten Stelle einen m e t a p h y s i s c h e n Wirkensfaktor einführt. Der Satz von der Erhaltung der lebendigen Kraft wird von ihm, weil alle Körper aus „absolut harten“ Atomen bestünden, bei jedem Aufeinanderprall solcher Atome aber mechanische Energie verloren gehren müsse, bestritten; die Gesamtsumme der Kraft sei in ständiger Abnahme begriffen, so daß die Welt zu ihrer Erhaltung von Zeit zu Zeit eines erneuten göttlichen Impulses bedürfe (58, S. 322 ff.). K a n t hatte schon in einem Jugendwerk, der »Monadologia physica« vom Jahre 1756, eine Versöhnung und Vermittlung zwischen den Prinzipien der Leibnizischen Philosophie und denen der Newton'schen Mechanik versucht: und er kommt in den „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“ auf diesen Versuch einer rein dynamischen Ableitung und Konstruktion der Materie zurück. Das „Wesen“ der Materie, d. h. ihr reiner Erfahrungsbegriff, nach welchem sie nichts anderes als ein Inbegriff äußerer Verhältnisse ist, wird in eine reine Wechselbestimmung fernwirkender Kräfte aufgelöst; aber indem diese Kräfte selbst in doppelter Form, als anziehende und abstoßende Kräfte auftreten, ist damit der Dualismus im Grunde nicht überwunden, sondern nur in den Kraftbegriff selbst zurückverlegt.

Von wesentlich anderen Gesichtspunkten und Motiven aus hat die moderne Physik den alten Gegensatz zwischen Materie und Kraft, der im klassischen System der Mechanik sanktioniert und verewigt schien, zu überwinden gesucht. Heinrich H e r t z' „Prinzipien der Mechanik“ schlagen hierbei den entgegengesetzten Weg, wie die vorangegangene philosophische Spekulation ein, indem jetzt die gesuchte Einheit statt in den Kraftbegriff in den Massenbegriff verlegt wird. Neben den Grundbegriffen des Raumes und der Zeit tritt nur noch der Begriff der Masse in den systematischen Aufbau der Mechanik ein. Die Durchführung dieser Ansicht setzt freilich voraus, daß wir bei der wahrnehmbaren „grobsinnlich nachweisbaren Masse“ und bei der „grobsinnlich nachweisbaren Bewegung“ nicht stehen bleiben, sondern die sinnlich gegebenen Elemente, die für sich noch keine gesetzmäßige Welt bilden, durch bestimmte Annahmen über „verborgene“ Massen und „verborgene“ Bewegungen ergänzen. Diese Ergänzung erscheint, wenn sie sich für die Beschreibung und Berechnung der Phänomene als notwendig erweist, umso unbedenklicher, als die Masse von Hertz von Anfang lediglich als bestimmter Rechnungsfaktor gefaßt wird. Sie will nichts anderes als bestimmte Zuordnungen der Raum- und Zeitgrößen zum

Ausdruck bringen: „ein Massenteilchen“ — so definiert Hertz — ist ein Merkmal, durch welches wir einen bestimmten Punkt des Raumes zu einer bestimmten Zeit eindeutig zuordnen einem bestimmten Punkte des Raumes zu jeder anderen Zeit“ (31, S. 29 ff., 54). Ein anderer Versuch, zu einer einheitlichen Grundlegung der Physik und mit ihr der Mechanik zu gelangen, war von der allgemeinen Energetik unternommen worden. Die träge Masse tritt hier lediglich als ein bestimmter Faktor der Energie, als Kapazitätsfaktor der Bewegungsenergie auf, der mit gewissen anderen Kapazitätsfaktoren der verschiedenen Energiearten, z. B. der Elektrizitätsmenge die empirische Eigenschaft der quantitativen Erhaltung teilt. Diesem Erhaltungsgesetz eine besondere Stelle einzuräumen und die Materie neben der Energie als besondere Substanz anzuerkennen, lehnt die Energetik ab (vgl. 60, S. 282 ff.). Aber freilich zeigt sich gerade hierin besonders deutlich das logisch Unbefriedigende, das darin liegt, daß der Erhaltungssatz sich nunmehr auf zwei völlig verschiedene Momente bezieht, zwischen denen ein innerer Zusammenhang nicht ersichtlich ist.

Die Relativitätstheorie bringt auch hier eine wichtige Klärung, indem sie die beiden Erhaltungssätze: den Satz der Erhaltung der Energie und den Satz von der Erhaltung der Masse zu einem einzigen Satze verschmilzt. Auch zu diesem Resultat gelangt sie durch Anwendung der ihr eigentümlichen Denkweise; es sind allgemeine Erwägungen über die Bedingungen der Messung, durch welche sie zu ihm hingeleitet wird. Die Forderung (zunächst der speziellen) Relativitätstheorie geht dahin, daß das Gesetz der Erhaltung der Energie nicht nur bezüglich eines Koordinatensystems K, sondern auch bezüglich jedes anderen gelte, das sich relativ zu ihm in gleichförmiger und geradliniger Bewegung befindet: aus dieser Voraussetzung aber ergibt sich in Verbindung mit den Grundgleichungen der Maxwell'schen Elektrodynamik, daß, wenn ein Körper in seiner Bewegung, ohne seine Geschwindigkeit zu ändern, in Form von Strahlung die Energie E_0 aufnimmt, seine träge Masse um einen bestimmten Betrag $\left(\frac{E_0}{c^2}\right)$ wächst. Die Masse eines Körpers ist demnach ein Maß für dessen Energieinhalt; ändert sich der Energieinhalt um einen bestimmten Betrag, so ändert sich auch die Masse in demselben Sinne.[1] Ihre selbständige Konstanz ist also nur ein Schein: sie gilt nur insoweit, als das System keine

[1] Einstein [*16a*] und Planck [*64* u. *65*].

Energie aufnimmt oder abgibt. Schon in der modernen Elektronentheorie hatte sich durch einen bekannten Versuch Kaufmanns ergeben, daß die „Masse“ eines Elektrons nicht unveränderlich sei, sondern mit der Geschwindigkeit desselben rasch wächst, sobald diese sich der Lichtgeschwindigkeit annähert. Hatte man zuvor zwischen einer „wirklichen“ und einer „fiktiven“ Masse der Elektronen unterschieden, d. h. zwischen einer Trägheit, die von ihrer ponderablen Masse herrühren und einer anderen, die sie rein infolge ihrer Bewegung und ihrer elektrischen Ladung besitzen sollten, sofern durch diese jeder Geschwindigkeitsänderung ein bestimmter Widerstand entgegengesetzt wird: — so ergab sich jetzt, daß die angebliche schwere Masse der Elektronen streng = o zu setzen sei. Die Trägheit der Materie erschien daher vollständig durch die Trägheit der Energie ersetzt; das Elektron — und somit das materielle Atom als ein System von Elektronen, — besaß keine materielle, sondern nur noch „elektromagnetische Masse“. Was man bisher als die eigentliche Grundeigenschaft der Materie, was man als ihren substantiellen Kern angesehen hatte, war damit in die Gleichungen des elektromagnetischen Feldes aufgelöst. Die Relativitätstheorie schreitet in der gleichen Richtung weiter; aber sie beweist und bewährt darin zugleich ihre besondere Nuance und Eigenart. Diese tritt vor allem in dem Verfahren hervor, kraft dessen sie zu einem ihrer grundlegenden Sätze, zu der Feststellung der Gleichwertigkeit der Trägheitsphänomene und der Schwerephänomene gelangt. Auch hier ist es zunächst lediglich eine Umrechnung: eine Betrachtung ein und desselben Phänomenkomplexes von verschiedenen Bezugssystemen aus, die ihr den Weg weist. Wir können, wie sie zeigt, je nach dem Standpunkt, den wir wählen, ein und dieselbe Erscheinung bald als eine reine Trägheitsbewegung, bald als eine Bewegung unter dem Einfluß eines Gravitationsfeldes betrachten und beurteilen. Diese hier aufgewiesene Äquivalenz des Urteils ergibt und begründet für Einstein die Behauptung der physikalischen Identität der Trägheitsphänomene und der Schwerephänomene. Treten für einen Beobachter bestimmte beschleunigte Bewegungen innerhalb des Umkreises seiner Beobachtung auf, so kann er sie so deuten, daß er sie entweder der Wirkung eines Schwerefeldes zuschreibt oder aber das Bezugssystem, von dem aus er seine Messungen anstellt, in eine bestimmte Beschleunigung versetzt denkt. Beide Annahmen leisten für die Beschreibung der Tatsachen genau das

Gleiche, können also unterschiedslos angewandt werden. Man kann — wie Einstein es ausdrückt — durch bloße Änderung des Koordinatensystems geradezu ein Gravitationsfeld erzeugen (17, S. 10; vgl. 18, S. 45 ff.). Damit aber ist gegeben, daß wir, um zu einer allgemeinen Theorie der Schwere zu gelangen, nichts anderes zu tun haben, als eine solche Umstellung des Bezugssystems vorzunehmen und ihre Folgen rechnerisch festzustellen. Es genügt, daß wir uns rein ideell in einen anderen Standort versetzen, um aus diesem Wechsel des Standorts bestimmte physikalische Folgerungen ableiten zu können. Was zuvor in der Newton'schen Gravitationstheorie die Dynamik der Kräfte leistete, das leistet in der Einsteinschen die reine Kinematik: die Betrachtung von verschiedenen relativ zueinander bewegten Bezugssystemen.

Wenn wir dieses ideelle Moment in der Einstein'schen Gravitationstheorie hervorheben, so darf natürlich die empirische Voraussetzung, auf welcher sie beruht, nicht vergessen werden. Daß wir in Gedanken, durch bloße Einführung eines neuen Bezugssystems, ein Trägheitsfeld in ein Schwerefeld und ein Schwerefeld von speziellem Bau in ein Trägheitsfeld verwandeln können, beruht auf der empirischen Gleichheit der trägen und der schweren Masse der Körper, wie sie mit außerordentlicher Genauigkeit durch die Versuche von Eötvös, auf die Einstein sich beruft, sichergestellt war. Nur die Tatsache, daß die Schwere allen Körpern, die sich an derselben Stelle des Schwerefeldes befinden, die gleiche Größe der Beschleunigung erteilt, daß es also für einen bestimmten Körper ein und dieselbe Konstante, die Masse ist, die seine Trägheits- und seine Gravitationswirkungen bestimmt, ermöglicht jene Umsetzung der einen in die andern, von der die Einstein'sche Theorie ausgeht.[1] Eben diese Grundtatsache aber unterliegt — was vom allgemein methodischen Standpunkt besonders interessant und wichtig ist — jetzt einer völlig anderen Deutung, als in der Newtonschen Mechanik. Was Einstein dieser letzteren entgegenhält, ist, daß sie das Phänomen der Gleichheit der schweren und trägen Masse zwar registriert, aber nicht interpretiert habe (18, S. 44). Was also bei Newton als Faktum anerkannt und aufgestellt war, das soll jetzt erst prinzipiell verstanden und gewürdigt werden. Auch an diesem Sonderproblem läßt sich verfolgen, wie allmählich erst die Frage nach dem „Wesen" der Materie

[1] Näheres bei Freundlich [*24*] S. 28 u. 60 f. u. bei Schlick [*79*] S. 27 ff.; vgl. Einstein [*18*] S. 45 ff.

und nach dem der Schwerkraft durch eine andere erkenntnistheoretische Problemstellung verdrängt wird, die das „Wesen“ eines bestimmten physikalischen Vorgangs rein in seinen quantitativen Beziehungen und in seinen numerischen Konstanten ausgedrückt und erschöpft findet. Schon Newton wird nicht müde, die Wesensfrage, die immer von neuem an ihn herantritt, von sich abzuweisen — und in seiner Schule und als Ausdruck seiner Methode ist das Wort, daß die Physik es lediglich mit der „Beschreibung der Phänomene“ zu tun habe, zuerst geprägt worden.[1] Dennoch vermag er sich dieser Frage auf der anderen Seite so wenig zu entziehen, daß er ausdrücklich betont, daß die allgemeine Anziehung im Wesen des Körpers selbst nicht begründet sei, sondern zu ihm als ein Neues und Fremdes hinzutrete. Die Schwere ist, wie er hervorhebt, zwar eine allgemeine, aber keine wesentliche Eigenschaft der Materie (59, III, S. 4). Was diese Unterscheidung zwischen dem Allgemeinen und dem Wesentlichen vom Standpunkt des Physikers bedeutet, der es lediglich mit der Gesetzlichkeit der Erscheinungen, also mit der Allgemeinheit der Regel, der sie unterliegen, zu tun hat, — bleibt hierbei freilich dunkel. Hier liegt eine Schwierigkeit, die sich in dem langwierigen Streit, der von Physikern und Philosophen über die Tatsächlichkeit und die Möglichkeit der fernwirkenden Kräfte geführt worden ist, immer aufs neue geltend gemacht hat. Auch Kant hält in den „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“ Newton entgegen, daß ohne die Annahme, daß alle Materie bloß als solche und durch ihre wesentliche Eigenschaft jene Wirkung, die wir Schwere nennen, ausübe, der Satz, daß die allgemeine Anziehung der Körper ihrer trägen Masse proportional sei, als ein völlig zufälliges und rätselhaftes Faktum stehen bleibe. (35, IV, S. 421). Die allgemeine Relativitätstheorie ist in der Auflösung dieser Frage den Weg gegangen, der durch die Eigenart der physikalischen Methode vorgeschrieben wird. Die numerische Proportion, die sich allgemein zwischen der trägen und der schweren Masse vorfindet, wird ihr zum Ausdruck für die physikalische Äquivalenz, für die Wesensgleichheit beider. Sie schließt daraus, daß es dieselbe Qualität des Körpers ist, die sich je nach Umständen als „Trägheit“ oder als „Schwere“ äußert. Wir haben hier prinzipiell dasselbe Verfahren vor uns, das z. B. in der elektromagnetischen Theorie des Lichts zur Einsicht in die „Identität“ von Lichtwellen und elektrischen Wellen geführt hat. Denn auch diese

[1] Keill, Introductio ad veram Physicam (1702) [36]; vgl. 7, II, 404 ff.

Identität will ja nichts anderes und nichts Geheimnisvolleres besagen, als daß es dieselben Gleichungen sind, mit denen wir die Lichtschwingungen und die Erscheinungen der dielektrischen Polarisation darstellen und beherrschen können und daß sich für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts und für die der elektrischen Polarisation der gleiche numerische Wert ergibt. Diese Wertgleichheit bedeutet dem Physiker Wesensgleichheit — eben weil ihm das Wesen in nichts anderem, als in exakten Maß- und Größenbestimmungen definiert ist. Im Fortschritt zu dieser Einsicht läßt sich geschichtlich ein ganz bestimmter Stufengang, eine Klimax der physikalischen Theorien verfolgen. Die Physik des achtzehnten Jahrhunderts wurzelt im allgemeinen noch in einer stofflich-dinglichen Gesamtanschauung. Noch in den grundlegenden Untersuchungen Sadi Carnots zur Thermodynamik wird die Wärme als Stoff angesehen — und auch zum Verständnis der Elektrizität und des Magnetismus schien die Annahme einer besonderen elektrischen und magnetischen „Materie“ unentbehrlich. Seit der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts tritt dagegen an Stelle dieser „Physik der Stoffe“ immer bestimmter und deutlicher jene Physik, die man die „Physik der Prinzipien“ genannt hat. Hier wird nicht von dem hypothetischen Dasein bestimmter Stoffe und Agentien, sondern von gewissen allgemeinen Beziehungen ausgegangen, die als Kriterien für die Deutung der besonderen Erscheinungen angesehen werden. Die allgemeine Relativitätstheorie steht methodisch am Ende dieser Reihe, indem sie alle besonderen systematischen Prinzipien in die Einheit einer höchsten Grundforderung, in die Forderung nicht der Konstanz von Dingen, sondern der Invarianz gewisser Größen und Gesetze gegenüber allen Transformationen der Bezugssysteme zusammenfaßt.

Die gleiche Entwicklung, die für die Eigenart der physikalischen Begriffsbildung überhaupt bezeichnend ist, zeigt sich, wenn man vom Begriff der Materie zu dem zweiten Grund- und Hauptbegriff der neueren Physik: zum Begriff des Äthers übergeht.[1] Auch die Vorstellung des Äthers, als des Trägers der optischen und der elektromagnetischen Wirkungen, sollte zunächst noch in möglichster Analogie und Verwandtschaft mit der Vorstellung empirisch gegebener Stoffe und empirisch gegebener Dinge erhal-

[1]) Auf Einzelheiten in der Entwicklung der Ätherhypothese gehe ich hier nicht ein: sie sind, vom Standpunkt der Erkenntnistheorie, z. B. von Aloys Müller [55, S. 90 ff.] und von Erich Becher [2, S. 232 ff.] dargestellt und erörtert worden. Zum Folgenden s. „Substanzbegriff und Funktionsbegriff“ [8, S. 215 ff.].

ten werden. Man suchte nach einer sinnlichen Beschreibung seiner Grundeigenschaften, indem man ihn bald mit einer vollkommenen inkompressiblen Flüssigkeit, bald mit einem vollkommen elastischen Körper verglich. Aber je mehr man diese Bilder im einzelnen auszumalen bestrebt war, umso deutlicher zeigte sich, daß sie von unserer Vorstellungskraft das Unmögliche, daß sie die Vereinigung schlechthin widerstreitender Eigenschaften verlangen. Mehr und mehr sah sich daher die moderne Physik dazu gedrängt, auf diese Art der sinnlichen Beschreibung und Verdeutlichung prinzipiell Verzicht zu leisten. Aber auch dann, wenn man nicht mehr nach irgendwelchen konkreten Eigenschaften des Äthers, sondern lediglich nach den abstrakten Gesetzen seiner Bewegung fragte, blieb die Schwierigkeit unverändert. Der Versuch, eine Mechanik des Äthers auszubilden, führte nach und nach zu einer Aufopferung aller Grundprinzipien der klassischen Mechanik; es zeigte sich, daß man, um ihn wirklich durchzuführen, nicht nur das Prinzip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung, sondern auch das Prinzip der Undurchdringlichkeit, in dem z. B. Euler den Kern und den zusammenfassenden Ausdruck aller mechanischen Gesetze sah, aufgeben müßte. Der Äther war und blieb demnach — nach einem Ausdruck Plancks — das „Schmerzenskind der mechanischen Theorie“: die Voraussetzung der genauen Gültigkeit der Maxwell-Hertz'schen Differentialgleichungen für die elektrodynamischen Vorgänge im reinen Äther schloß die Möglichkeit ihrer mechanischen Erklärung aus[1]. Ein Ausweg aus dieser Antinomie war nur zu finden, indem man die Betrachtung umkehrte. Statt nach den Eigenschaften oder der Konstitution des Äthers, als eines realen Dinges zu fragen, mußte die Frage gestellt werden, mit welchem Rechte hier überhaupt nach einer besonderen Substanz mit besonderen stofflichen Eigenschaften und einer bestimmten mechanischen Konstitution gesucht werde. Wie — wenn nun alle Schwierigkeiten der Antwort in der Frage selbst begründet lägen, weil und sofern ihr kein klarer und bestimmter physikalischer Sinn innewohnte? Das ist in der Tat die neue Stellung, die die Relativitätstheorie zur Frage des Äthers einnimmt. Nach dem Ergebnis des Michelson'schen Versuchs und dem Prinzip der Konstanz der Lichtausbreitung hat jeder Beobachter das Recht, sein System als „im Äther ruhend“ anzusehen: man müßte somit dem Äther gleich-

[1] S. Planck [67], S. 64 ff. — für die Möglichkeit und Notwendigkeit einer „Mechanik des Äthers“ spricht sich insbesondere Lenard aus [*45a* u. *b*].

zeitig Ruhe in bezug auf ganz verschiedene Koordinatensysteme K, K', K'' zuschreiben, die sich relativ zueinander in gleichförmiger Translationsbewegung befinden. Das aber ist ein offenbarer Widerspruch — und er zwingt nunmehr, den Gedanken des Äthers als einer irgendwie bewegten oder unbewegten „Substanz", als eines Dinges mit einem bestimmten „Bewegungszustand" überhaupt fallen zu lassen. Statt irgendein hypothetisches Substrat für die Erscheinungen zu ersinnen und sich in Betrachtungen über die Natur dieses Substrats zu verlieren, begnügt sich auch hier die Physik, indem sie sich als reine „Feldphysik" konstituiert, mit dem Bestand der Feldgleichungen selbst und ihrer experimentell nachprüfbaren Gültigkeit. „Man kann — so heißt es z. B. bei Lucien Poincaré — ohne einen wirklichen Denkfehler zu begehen, den Äther nicht durch materielle Eigenschaften definieren, und es heißt eine völlig unnütze, von vornherein zur Unfruchtbarkeit verdammte Arbeit unternehmen, wenn man ihn durch andere Eigenschaften zu charakterisieren sucht, als die, deren unmittelbare und genaue Kenntnis uns das Experiment verschafft. Der Äther ist definiert, wenn wir in jedem Punkte, in ihrer Größe und in ihrer Richtung, die beiden Felder kennen, die darin existieren können, das elektrische und magnetische Feld. Die beiden Felder können sich verändern; wir sprechen gewohnheitsmäßig von einer Bewegung, die sich im Äther fortpflanzt; aber die Erscheinung, die dem Experiment zugänglich ist, ist die Fortpflanzung dieser Veränderungen" (75, S. 251). Wieder stehen wir hier vor einem jener Triumphe des kritischen Funktionsbegriffs über die naive Ding- und Substanzvorstellung, wie die Geschichte der exakten Wissenschaft sie fortschreitend verzeichnet. Der Äther hatte seine physikalische Rolle ausgespielt, sobald eine Form der Darstellung der elektrodynamischen Gesetze gefunden war, in welche er nicht als Bedingung einging. „Die Relativitätstheorie" — so bemerkt einer ihrer Vertreter — beruht auf einer völlig neuen Auffassung über die Fortpflanzung elektromagnetischer Wirkungen im leeren Raume; sie sind nicht durch ein Medium übertragen, gehen aber auch nicht in unvermittelter Fernwirkung vor sich. Sondern das elektromagnetische Feld im leeren Raume ist ein von aller Substanz unabhängiges Ding von selbständiger physikalischer Wirklichkeit. Gewiß muß man sich an diese Vorstellung erst gewöhnen; vielleicht aber wird die Gewöhnung erleichtert durch die Bemerkung, daß die physikalischen Eigenschaften eben dieses Feldes, deren prägnantester Ausdruck die sog. Maxwell'schen Gleichungen

sind, weit vollständiger und genauer bekannt sind, als die Eigenschaft irgendeiner Substanz" (Laue 41, S. 112). Die Gewöhnung an ein „von aller Substanz unabhängiges — Ding" wird man nun freilich so wenig dem gemeinen Menschenverstande, wie dem erkenntnistheoretisch geschulten Verstande zumuten können — denn gerade für den letzteren bedeutet die Substanz die Kategorie, auf deren Anwendung alle Möglichkeit „Dinge" zu setzen überhaupt beruht. Aber es ist freilich ersichtlich, daß es sich hier nur um eine Ungenauigkeit des Ausdrucks handelt, und daß als die „selbständige physikalische Wirklichkeit" des elektromagnetischen Feldes nichts anderes als die Wirklichkeit der in ihm geltenden gesetzlichen Beziehungen, wie sie sich in den Maxwell-Hertz'schen Gleichungen ausprechen, verstanden werden soll. Diese werden als die letzte uns erreichbare Realität hingestellt, weil und sofern sie der letzte uns erreichbare Gegenstand des physikalischen Wissens sind. Die Vorstellung vom Äther als einer unerfahrbaren Substanz wird von der Relativitätstheorie ausgeschaltet, um lediglich die reinen Bestimmungen des Erfahrungswissens selbst zum begrifflichen Ausdruck zu bringen.

Für diese Darstellung aber bedürfen wir nach ihr auch nicht mehr der festen und starren Bezugskörper, auf die die klassische Mechanik sich zuletzt notwendig hingewiesen sah. Die allgemeine Relativitätstheorie mißt nicht mehr mit den starren Körpern der Euklidischen Geometrie und der klassischen Mechanik, sondern sie geht in ihrer Bestimmung des allgemeinen Linienelements *ds* von einer neuen umfassenderen Betrachtungsweise aus. An die Stelle des starren Stabes, von dem vorausgesetzt wird, daß er für alle Zeiten und Orte und unter allen besonderen Bedingungen der Messung dieselbe unveränderliche Länge bewahre, treten nunmehr krummlinige Gauß'sche Koordinaten. Sei irgendein Punkt P des räumlich-zeitlichen Kontinuums durch die vier Parameter x_1, x_2, x_3, x_4 bestimmt, so gilt für ihn und einen unendlich benachbarten Punkt P' ein bestimmter „Abstand" *ds*, der durch die Formel:

$$ds^2 = g_{11}\, dx_1{}^2 + g_{22}\, dx_2{}^2 + g_{33}\, dx_3{}^2 + g_{44}\, dx_4{}^2 + 2g_{12}\, dx_1\, dx_2 + 2g_{13}\, dx_1\, dx_3 + \ldots$$

ausgedrückt wird, wobei die Größen $g_{11}, g_{22} \ldots . g_{44}$ Werte haben, die mit dem Orte im Kontinuum variieren. In diesem allgemeinen Ausdruck ist die Formel für das Linienelement des Euklidischen Kontinuums als spezieller Fall enthalten. Den Einzelheiten

dieser Bestimmung braucht hier vorerst nicht nachgegangen zu werden[1]) — ihr wesentlicher Ertrag aber liegt darin, daß nunmehr für jede Stelle des raum-zeitlichen Kontinuums sich eigene, im allgemeinen verschiedene Maßbestimmungen ergeben. Jeder Punkt wird nicht auf ein starres und festes Bezugssystem außer ihm, sondern gewissermaßen nur auf sich selbst und auf die unendlich benachbarten Punkte bezogen. So werden alle Maße — verglichen mit den starren Geraden der Euklideischen Geometrie, die ohne Formveränderung frei im Raume beweglich sein sollen — gleichsam unendlich flüssig: und doch schließt sich auf der anderen Seite der Inbegriff all dieser unendlich-vielfältigen und unendlich-verschiedenartigen Bestimmungen zu einem wahrhaft universellen und einheitlichen System zusammen. Statt gegebener endlicher Bezugskörper verwenden wir jetzt nur noch „Bezugsmollusken", wie Einstein es genannt hat; aber der gedachte Inbegriff aller dieser „Mollusken" genügt andererseits erst wahrhaft der Forderung einer eindeutigen Beschreibung des Naturgeschehens. Denn das allgemeine Relativitätsprinzip fordert, daß alle diese Systeme mit gleichem Rechte und gleichem Erfolge bei der Formulierung der allgemeinen Naturgesetze als Bezugskörper verwendet werden können: die Form der Gesetze soll von der Wahl der Mollusken gänzlich unabhängig sein (18, S. 67). Auch hierin äußert sich wieder das charakteristische Verhalten der allgemeinen Relativitätstheorie: indem sie die Dingform der endlichen und starren Bezugskörper zerschlägt, will sie eben damit nur zu einer höheren Objektform, zur echten Systemform der Natur und ihrer Gesetze vordringen. Nur dadurch, daß sie die Schwierigkeiten, die sich schon der klassischen Mechanik aus der Tatsache der Relativität aller Bewegungen ergeben hatten, steigert und überbietet, hofft sie einen prinzipiellen Ausweg aus diesen Schwierigkeiten zu finden. „Je klarer unsere Begriffe vom Raume und von der Zeit werden" — so heißt es einmal in dem Grundriß der Mechanik, den Maxwell in seiner kleinen Schrift „Substanz und Bewegung" gegeben hat — um so deutlicher sehen wir ein, daß alles, auf was sich unsere dynamischen Lehren beziehen, in einem einzigen Systeme zusammenhängt. Anfangs mögen wir der Meinung gewesen sein, wir als bewußte Wesen müßten als notwendige Elemente unserer Erkenntnis eine absolute Kenntnis des Ortes, an dem wir uns befinden, und der Richtung, in der wir uns bewegen, haben. Aber diese Meinung, welche unzweifelhaft die vieler Wei-

[1]) Näheres bei Einstein [*17* u. *18*, S. 59 ff.]; vgl. unten Nr. VI.

sen des Altertums war, wich nach und nach aus der Vorstellung der Physiker. Im Raume sind keine Marksteine; ein Teil des Raumes ist genau gleich jedem anderen Teile, so daß wir nicht wissen können, wo wir sind. Wir befinden uns wie auf ungewellter See, ohne Sterne, ohne Kompaß und Sonne, ohne Wind und Flut und können nicht sagen, in welcher Richtung wir uns bewegen. Wir haben kein Log, das wir auswerfen könnten, um danach eine Berechnung anzustellen; wir können zwar den Grad unserer Bewegung im Vergleich mit benachbarten Gegenständen bestimmen; aber wir wissen nicht, wie sich diese Körper im Raume bewegen" (*51*, S. 92 f.). Aus dieser Stimmung des „Ignorabimus", in die sich die Physik mehr und mehr versinken sah, konnte nur eine Theorie befreien, die das Problem an seiner Wurzel angriff: — die, statt die bisherigen Lösungen zu modifizieren, die bisherige Fragestellung von Grund aus umformte. Die Frage des absoluten Raumes und der absoluten Bewegung konnte keine andere Lösung erfahren, als diejenige, die sich für die Aufgabe des Perpetuum mobile und der Quadratur des Zirkels ergeben hatte. Sie mußte aus ihrem bloß negativen Ausdruck in einen positiven Ausdruck umgesetzt, sie mußte aus einer Beschränkung des physikalischen Wissens in ein Prinzip dieses Wissens verwandelt werden, wenn der wahrhaft philosophische Gehalt, den sie in sich birgt, ausgeschöpft werden sollte.

V.

DER RAUM- UND ZEITBEGRIFF DES KRITISCHEN IDEALISMUS UND DIE RELATIVITÄTSTHEORIE.

Wir haben bisher die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie vor allem nach ihrer physikalischen Seite zu verstehen und zu würdigen gesucht. In der Tat ist dies der eigentliche Gesichtspunkt, unter dem sie beurteilt werden muß — und man leistet ihr einen schlechten Dienst, wenn man ihre Ergebnisse vorschnell in rein „philosophische" oder wohl gar in spekulativ-metaphysische Resultate umzudeuten versucht. Die Theorie enthält keinen einzigen Begriff, der nicht aus den Denkmitteln der Mathematik und Physik ableitbar und in ihnen vollständig darstellbar wäre. Nur die volle Bewußtheit über eben diese Denkmittel sucht sie zu erringen, indem sie nicht nur Resultate der physikalischen Messung darstellen, sondern auch über die Form jeglicher physikalischer Messung und über ihre Bedingungen prinzipielle Klarheit zu gewinnen strebt.

Damit scheint sie freilich in die unmittelbare Nähe der kritisch-transzendentalen Theorie zu rücken, die auf die „Möglichkeit der Erfahrung" gerichtet ist; aber sie bleibt nichtsdestoweniger ihrer allgemeinen Tendenz nach von ihr geschieden. Denn — in der Sprache dieser transzendentalen Kritik ausgedrückt — ist und bleibt die Grundansicht über Raum und Zeit, die die Relativitätstheorie entwickelt, eine Lehre vom empirischen Raum und der empirischen Zeit, nicht vom reinen Raum und der reinen Zeit. Was diesen Punkt betrifft, so ist über ihn nicht wohl eine Meinungsverschiedenheit möglich: — und in der Tat scheinen alle Beurteiler, die die Kantische und die Einstein-Minkowskische Raum- und Zeittheorie miteinander verglichen haben, hierüber im wesentlichen zu demselben Ergebnis gelangt zu sein.[1] Man könnte, vom Standpunkt eines

[1]) Vgl. bes. Natorp [56, S. 392 ff.], Hönigswald [33, S. 88 ff.]; Frischeisen-Köhler [26, S. 323 ff.]; neuerdings Sellien [81, S. 14 ff.].

strengen Empirismus, allenfalls versuchen, die Möglichkeit einer Lehre vom „reinen Raum“ und von der „reinen Zeit“ zu bestreiten: — aber es läßt sich nicht übersehen, daß sofern eine solche Lehre zu Recht besteht, sie von allen Resultaten der konkreten Messung und von den besonderen Bedingungen, die bei dieser obwalten, unabhängig sein muß. Hat der Begriff des reinen Raumes und der reinen Zeit überhaupt einen bestimmten berechtigten Sinn — so könnte man in der Ausdrucksweise der Relativitätstheorie selbst sagen —, so muß dieser Sinn gegenüber allen Transformationen, die die Lehre von der empirischen Raum- und Zeitmessung erfährt, invariant bleiben. Nur das eine können und werden derartige Umbildungen leisten: daß sie uns lehren, die Grenzen zwischen dem, was zur rein philosophischen, zur „transzendentalen“ Kritik der Raum- und Zeitbegriffe selbst und dem, was lediglich zu den besonderen Anwendungen dieser Begriffe gehört, schärfer zu ziehen. Hier vermag in der Tat die Relativitätstheorie der allgemeinen Erkenntniskritik einen wichtigen mittelbaren Dienst zu leisten, — gerade wenn man der Versuchung widersteht, ihre Sätze unmittelbar in Sätze der Erkenntniskritik umzudeuten.

Kants Raum- und Zeitlehre ist selbst zum guten Teil auf dem Boden physikalischer Probleme erwachsen — und der Streit, der in der Naturwissenschaft des 18. Jahrhunderts über die Existenz des absoluten Raumes und der absoluten Zeit geführt wurde, hat ihn von Anfang an lebhaft bewegt. Er hat in sich selbst, ehe er als kritischer Philosoph an die Fragen von Raum und Zeit herantrat, die verschiedenen und gegensätzlichen Entscheidungen durchlebt, mit welchen die zeitgenössische Physik diese Probleme zu bewältigen versuchte. Hierbei steht er anfangs, gegenüber der herrschenden Schulmeinung, durchaus auf dem Boden der relativistischen Anschauung. In dem „Neuen Lehrbegriff der Bewegung und der Ruhe“ vom Jahre 1758 stellt der damals 34jährige Kant mit aller Entschiedenheit den Grundsatz der Relativität aller Bewegung auf und greift von hier aus die herkömmliche Formulierung des Trägheitssatzes an. „Jetzt fange ich an einzusehen“, heißt es hier, nachdem durch bekannte Beispiele die Schwierigkeiten des Begriffs der „absoluten Bewegung“ beleuchtet worden sind, „daß mir in dem Ausdruck der Bewegung und der Ruhe etwas fehlet. Ich soll niemals sagen: Ein Körper ruhet, ohne dazuzusetzen, in Ansehung welcher Dinge er ruhe und niemals sprechen, er bewege sich, ohne zugleich die Gegenstände zu nennen, in Ansehung deren er

seine Beziehung ändert. Wenn ich mir auch gleich einen mathematischen Raum leer von allen Geschöpfen als ein Behältnis der Körper einbilden wollte, so würde mir dieses doch nichts helfen. Denn wodurch soll ich alle Teile desselben und die verschiedenen Plätze unterscheiden, die von nichts Körperlichem eingenommen sind?" (35; II, 19.) Aber Kant ist in seiner weiteren Entwicklung der Norm, die er hier so entschieden aufgestellt hatte und von der ein moderner Physiker gesagt hat, daß sie verdienen würde, in ehernen Lettern über jedem Hörsaale der Physik angebracht zu werden[1], zunächst nicht treu geblieben. Er hatte es gewagt, den Begriff der Trägheitskraft, der »vis inertiae« zu verwerfen; er hatte sich geweigert, seine Gedanken über die Grundsätze der Mechanik „auf die Zwangsmühle des Wolffischen oder eines anderen berühmten Lehrgebäudes aufzuschütten." Aber wenn er auf diese Weise der Autorität der führenden Philosophen entgegentrat, so vermochte er sich doch der Autorität der großen mathematischen Physiker seiner Zeit nicht auf die Dauer zu entziehen. In dem „Versuch, den Begriff der negativen Größen in die Weltweisheit einzuführen" vom Jahre 1763 stellt er sich an die Seite Eulers, um mit ihm für die Gültigkeit der Newton'schen Begriffe vom absoluten Raum und der absoluten Zeit einzutreten — und noch sechs Jahre später sucht er in der Abhandlung von dem ersten Grunde des Unterschieds der Gegenden im Raume (1769) den Beweis, den Euler für das Dasein des absoluten Raumes aus den Prinzipien der Mechanik zu führen versucht hatte, durch eine andere, rein geometrisch gerichtete Betrachtung zu stützen, die „den Meßkünstlern einen überzeugenden Grund an die Hand geben" sollte, „mit der ihnen gewöhnlichen Evidenz die Wirklichkeit ihres absoluten Raumes behaupten zu können" (35, II, 394). Aber es handelt sich hier freilich nur um eine Episode in Kants Entwicklung: denn schon ein Jahr später hat sich in ihm, in der Inaugural-Dissertation des Jahres 1770, die entscheidende kritische Wendung in der Raum- und Zeitfrage vollzogen. Durch sie erhält das Problem eine völlig neue Gestalt: es ist vom Boden der Physik auf den Boden der „Transzendentalphilosophie" verpflanzt und muß nun nach deren allgemeinen Prinzipien betrachtet und entschieden werden.

Die Transzendentalphilosophie aber hat es nicht in erster Linie mit der Realität des Raumes oder der Zeit — werde diese nun im metaphysischen oder physischen Sinne genommen — zu tun, son-

[1] Streintz [82], S. 42.

dern sie fragt nach der objektiven Bedeutung beider Begriffe für den Gesamtaufbau unserer empirischen Erkenntnis. Sie betrachtet Raum und Zeit nicht mehr als Dinge, sondern als „Erkenntnisquellen". Sie sieht in ihnen nicht selbständige Gegenstände, die irgendwie vorhanden sind und deren wir durch Experiment und Beobachtung habhaft werden können, sondern „Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrung", des Experiments und der Beobachtung selbst, die ihrerseits nicht wieder in dinglicher Art angeschaut werden können. Was — wie der Raum und die Zeit — die Setzung von Gegenständen erst ermöglicht, das kann uns niemals selbst als einzelner Gegenstand im Unterschied zu andern, gegeben sein. Denn die *„Formen"* der möglichen Erfahrung — die Formen der Anschauung, wie der reinen Verstandesbegriffe — treten uns nicht noch einmal als *Inhalte* der wirklichen Erfahrung entgegen. Vielmehr besteht die einzig mögliche Art, in der sich irgendwelche „Objektivität" dieser Formen ausdrücken und darstellen kann, darin, daß sie zu bestimmten *Urteilen* führen, denen wir den Wert der Notwendigkeit und Allgemeinheit zuerkennen müssen. Damit erst ist die Richtung gewiesen, in welcher fortan nach einer Objektivität des Raumes oder der Zeit allein gefragt werden kann. Wer nach einem absolut dinglichen Korrelat für beide verlangt, der hascht nach Schatten. Denn all ihr „Sein" geht in der Bedeutung und der Funktion auf, die sie für den Urteilskomplex, den wir Wissenschaft, den wir Geometrie oder Arithmetik, mathematische oder empirische Physik nennen, besitzen. Was sie innerhalb dieses Zusammenhangs als Voraussetzungen leisten, ist durch die transzendentale Kritik genau bestimmbar; was sie als Dinge an sich sind, ist eine müssige, im Grunde unverständliche Frage. Diese Grundauffassung tritt schon in der Inauguralschrift deutlich hervor. Schon hier wird ein absoluter Raum oder eine absolute Zeit, die eine von den empirischen Körpern und von den empirischen Ereignissen abgesonderte *Existenz* besäßen, als Unding, als eine bloße begriffliche Fiktion *(inane rationis commentum)* verworfen. Beide, Raum und Zeit, bedeuten nur ein festes Gesetz des Geistes, ein Schema der Verknüpfung, durch welches alles sinnlich Wahrgenommene in bestimmte Beziehungen des Neben- und Nacheinander gesetzt wird. So haben beide, trotz ihrer „transzendentalen Idealität", freilich „empirische Realität" — aber diese Realität bedeutet stets nur ihre Gültigkeit für alle Erfahrung, die aber niemals mit ihrem Dasein als losgelöste objektive Inhalte eben dieser Erfahrung selbst verwechselt

werden darf. „Der Raum ist bloß die Form der äußeren Anschauung (formale Anschauung), aber kein wirklicher Gegenstand, der äußerlich angeschaut werden kann. Der Raum vor allen Dingen, die ihn bestimmen (erfüllen oder begrenzen) oder die vielmehr eine seiner Form gemäße empirische Anschauung geben, ist unter dem Namen des absoluten Raumes nichts anderes, als die bloße Möglichkeit äußerer Erscheinungen. . . Will man eines dieser zwei Stücke außer dem anderen setzen (Raum außerhalb allen Erscheinungen), so entstehen daraus allerlei leere Bestimmungen der äußeren Anschauung, die doch nicht mögliche Wahrnehmungen sind, z. B. Bewegung oder Ruhe der Welt im unendlichen leeren Raum, eine Bestimmung des Verhältnisses beider untereinander, welche niemals wahrgenommen werden kann und also auch das Prädikat eines bloßen Gedankendinges ist" (34, S. 457).

Wenn demnach Einstein es als den Grundzug der Relativitätstheorie bezeichnet, daß durch sie dem Raume und der Zeit „der letzte Rest physikalischer Gegenständlichkeit" genommen werde, so zeigt sich, daß die Theorie hierin nur dem Standpunkt des kritischen Idealismus die bestimmteste Anwendung und Durchführung innerhalb der empirischen Wissenschaft selbst verschafft. Raum und Zeit werden in der kritischen Lehre zwar in ihrer Geltung als Ordnungsformen von den Inhalten, die sich in ihnen ordnen, unterschieden: — aber ein losgelöstes Dasein dieser Formen gibt es für Kant so wenig im subjektiven, wie im objektiven Sinne. Auch die Auffassung, daß Raum und Zeit als die subjektiven Formen, in die die Empfindungen eingehen, als zwar nicht „physische", aber „psychische" Realitäten, vor aller Erfahrung „im Gemüte bereit liegen", bedarf heute kaum einer Widerlegung mehr. Diese Vorstellung scheint freilich, wenngleich schon Fichte seinen ebenso derben, wie treffenden Spott über sie ergossen hat, unausrottbar; aber sie entfällt für jeden, der sich auch nur die ersten Bedingungen der transzendentalen Fragestellung, im Gegensatz zur psychologischen, klar gemacht hat, von selbst. Nur am Geordneten und mit ihm ist der Sinn des Ordnungsprinzips überhaupt faßbar und aufzeigbar. Insbesondere wird für die Zeitmessung betont, daß die Bestimmung der Zeitstellen der einzelnen empirischen Gegenstände und Vorgänge nicht von dem Verhältnis der Erscheinungen gegen die absolute Zeit entlehnt werden kann, sondern daß sich umgekehrt die Erscheinungen einander ihre Stellen in der Zeit selbst bestimmen

und dieselben in der Zeitordnung notwendig machen müssen. „Diese Einheit der Zeitbestimmung ist durch und durch dynamisch, d. i. die Zeit wird nicht als dasjenige angesehen, worin die Erfahrung unmittelbar jedem Dasein seine Stelle bestimmte, welches unmöglich ist, weil die absolute Zeit kein Gegenstand der Wahrnehmung ist, womit Erscheinungen können zusammengehalten werden, sondern die Regel des Verstandes, durch welche allein das Dasein der Erscheinungen synthetische Einheit nach Zeitverhältnissen bekommen kann, bestimmt jeder derselben ihre Stelle in der Zeit, mithin a priori und gültig für alle und jede Zeit" (34, S. 245 u. 262; vgl. 56, S. 332).

Eine ebensolche „Regel des Verstandes", in der sich die synthetische Einheit der Erscheinungen und ihr wechselseitiges dynamisches Verhältnis ausdrückt, ist es, worauf auch alle empirische Raumordnung, alle objektiven Beziehungen räumlicher „Gemeinschaft" in der Körperwelt beruhen. Die „communio spatii", d. h. jene apriorische Form des Beisammen, die in Kants Sprache als „reine Anschauung" bezeichnet wird, ist, wie er ausdrücklich betont, doch immer nur durch das c o m m e r c i u m der Substanzen im Raume, d. h. durch ein Ganzes physikalischer, in der Erfahrung aufweisbarer Wirkungen für uns e m p i r i s c h e r k e n n b a r. „Das Wort »Gemeinschaft« — so heißt es an einer Stelle der Kritik der reinen Vernunft, die gerade in Hinsicht auf die Entwicklung der modernen Relativitätstheorie besonders bedeutsam und wichtig erscheint — ist in unserer Sprache zweideutig und kann soviel als c o m m u n i o, aber auch als c o m m e r c i u m bedeuten. Wir bedienen uns hier desselben im letzteren Sinne als einer dynamischen Gemeinschaft, ohne welche selbst die lokale (communio spatii) niemals empirisch erkannt werden könnte. Unseren Erfahrungen ist es leicht anzumerken, *daß nur die kontinuierlichen Einflüsse in allen Stellen des Raumes unsern Sinn von einem Gegenstande zum andern leiten können; daß das Licht, welches zwischen unserm Auge und den Weltkörpern spielt, eine mittelbare Gemeinschaft zwischen uns und diesen bewirket* und dadurch das Zugleichsein der letzteren beweiset; daß wir keinen Ort empirisch verändern (diese Veränderung wahrnehmen) können, ohne daß uns allerwärts Materie die Wahrnehmung unserer Stelle möglich mache und diese nur vermittelst ihres wechselseitigen Einflusses ihr Zugleichsein und dadurch bis zu den entlegensten Gegenständen die Koexistenz derselben (obzwar nur mittelbar) dartun kann" (34, S. 260). Die räumliche Ordnung der

Körperwelt ist uns m. a. W. als solche niemals unmittelbar und sinnlich gegeben, sondern sie ist das Ergebnis einer gedanklichen Konstruktion, die von bestimmten empirischen Gesetzen der Erscheinung ihren Ausgang nimmt, und von hier aus zu immer allgemeineren Gesetzen fortzuschreiten sucht, in denen schließlich dasjenige gegründet sein soll, was wir die Einheit der Erfahrung als räumlich-zeitliche Einheit nennen.

Aber liegt nicht gerade in dieser letzteren Wendung der charakteristische und entscheidende Gegensatz der Raum- und Zeitlehre des kritischen Idealismus zur Relativitätstheorie? Ist nicht eben die Aufhebung der von Kant geforderten Einheit des Raumes und der Zeit das wesentliche Ergebnis dieser Theorie? Wenn alle Zeitmessung von dem Bewegungszustand des Systems, von welchem aus sie unternommen wird, abhängig ist: dann scheint es nur noch unendlich viele und unendlich-verschiedenartige „Ortszeiten" zu geben, die aber niemals zur Einheit „der" Zeit zusammengehen. Daß jedoch diese Anschauung irrig ist — daß mit der Aufhebung der Dingeinheit von Raum und Zeit nicht auch ihre Funktionseinheit aufgehoben, sondern vielmehr erst wahrhaft begründet und befestigt wird, hat sich uns bereits gezeigt (s. oben S. 33 ff., 54 ff.). In der Tat ist dieser Sachverhalt auch von physikalischen Vertretern der Relativitätstheorie nicht nur zugestanden, sondern ausdrücklich hervorgehoben worden. „Darin liegt gerade die Kühnheit und die hohe philosophische Bedeutung des Einstein'schen Gedankens — so heißt es z. B. bei Laue — daß er mit dem hergebrachten Vorurteil einer für alle Systeme gültigen Zeit aufräumt. So gewaltig die Umwälzung auch ist, zu welcher er unser ganzes Denken zwingt, so liegt doch nicht die mindeste erkenntnistheoretische Schwierigkeit in ihm. Denn die Zeit ist wie der Raum in Kants Ausdrucksweise eine reine Form unserer Anschauung; ein Schema, in welches wir die Ereignisse einordnen müssen, damit sie im Gegensatz zu subjektiven, in hohem Maße zufälligen Wahrnehmungen objektive Bedeutung gewinnen. Diese Einordnung kann nur auf Grund der empirischen Kenntnis der Naturgesetze vollzogen werden. Ort und Zeit der beobachteten Veränderung an einem Himmelskörper kann nur auf Grund der optischen Gesetze festgestellt werden. Daß zwei verschieden bewegte Beobachter, wenn jeder sich selbst als ruhend betrachtet, diese Einordnung auf Grund derselben Naturgesetze verschieden vornehmen, enthält keine logische Unmöglichkeit. Objektive Bedeutung haben beide Einordnungen dennoch, da sich

aus jeder von ihnen vermittels der abzuleitenden Transformationsformeln die für anders bewegte Beobachter gültige eindeutig ableiten läßt" (40, S. 36 f.). Diese Eindeutigkeit der Zuordnung, nicht die Einerleiheit der in den verschiedenen Systemen ermittelten Maßwerte, ist jetzt dasjenige, was vom Gedanken der „Einheit der Zeit" allein zurückbleibt: aber darin drückt sich nur um so schärfer die Grundeinsicht aus, daß diese Einheit nicht in der Form eines einzelnen gegenständlichen Inhalts, sondern ausschließlich in der Form eines Systems gültiger Relationen darstellbar ist. Die „dynamische Einheit der Zeitbestimmungen" bleibt als Forderung erhalten; aber es zeigt sich, daß wir dieser Forderung, wenn wir bei den Gesetzen der Newtonischen Mechanik stehen bleiben, nicht genügen können, sondern daß wir durch sie notwendig auf eine neue, zugleich allgemeinere und konkretere Form der Physik hinausgetrieben werden. Die „objektive" Bestimmung erweist sich daher als wesentlich komplexer, als die klassische Mechanik annahm, die sie in ihren bevorzugten Bezugssystemen noch immer gleichsam mit Händen zu greifen glaubte. Daß hierin ein Schritt auch über Kant hinaus getan ist, ist unbestreitbar: denn auch er hat seine „Analogien der Erfahrung" im wesentlichen nach den drei Newtonischen Grundgesetzen: nach dem Trägheitsgesetz, dem Gesetz der Proportionalität von Kraft und Beschleunigung und nach dem Gesetz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung gestaltet. Aber gerade in diesem Fortschritt bewährt sich aufs neue der Gedanke, daß die „Regel des Verstandes" es ist, die die Richtschnur für alle unsere zeitlichen und räumlichen Bestimmungen bildet. In der speziellen Relativitätstheorie dient als solche Regel das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit; in der allgemeinen wird dieses Prinzip durch den umfassenderen Gedanken ersetzt, daß alle Gauß'schen Koordinatensysteme für die Formulierung der allgemeinen Naturgesetze gleichwertig sind. Daß es sich hierbei nicht um den Ausdruck einer empirisch beobachteten Tatsache handelt — wie ließe sich überhaupt eine unendliche Allheit „beobachten"? — sondern um einen Grundsatz, den der Verstand in der Deutung der Erfahrungen hypothetisch als Norm der Forschung gebraucht, liegt auf der Hand. Und der Sinn und das Recht dieser Norm beruht eben darauf, daß wir allein durch ihre Anwendung hoffen können, die verlorene Einheit des Gegenstandes, nämlich die „synthetische Einheit der Erscheinungen nach Zeitverhältnissen" wiederzugewinnen. Der Physiker rechnet jetzt weder auf die Konstanz jener Objekte,

bei denen sich die naive sinnliche Weltansicht beruhigt, noch auf die Konstanz der besonderen, von einem einzelnen System aus gewonnenen räumlichen und zeitlichen Maßbestimmungen — aber dessen ungeachtet behauptet er, als Bedingung seiner Wissenschaft, den Bestand „universeller Konstanten" und universeller Gesetze, die für alle Systeme der Messung den gleichen Wert behalten.

In den „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft" prägt Kant, indem er auf das Problem des absoluten Raumes und der absoluten Zeit zurückkommt, eine glückliche terminologische Unterscheidung aus, die geeignet ist, auch das Verhältnis des kritischen Idealismus zur Relativitätstheorie schärfer zu bezeichnen. Der absolute Raum — so betont er auch hier — ist an sich nichts und gar kein Objekt, er bedeutet nur einen jeden andern relativen Raum, den ich mir außer dem gegebenen jederzeit denken kann. Ihn zum wirklichen Dinge zu machen, heißt die logische Allgemeinheit irgendeines Raumes, mit dem ich jeden empirischen als darin eingeschlossen vergleichen kann, in eine physische Allgemeinheit des wirklichen Umfangs verwechseln, und die Vernunft in ihrer Idee mißverstehen. Die echte logische Allgemeinheit der Idee des Raumes schließt also seine physische Allgemeinheit, als eines allbefassenden Gefäßes der Dinge, nicht nur nicht ein, sondern sie ist gerade dazu bestimmt, sie auszuschließen. Wir sollen uns einen absoluten Raum, d. h. eine letzte Einheit aller räumlichen Bestimmung, in der Tat denken; aber nicht um mit seiner Hilfe nun absolute Bewegungen der empirischen Körper zu erkennen, sondern um in demselben „alle Bewegung des Materiellen als bloß relativ gegeneinander, als alternativ-wechselseitig, keine aber als absolute Bewegung oder Ruhe" vorzustellen. „Der absolute Raum ist also nicht als ein Begriff von einem wirklichen Objekt, sondern als eine Idee, welche zur Regel dienen soll, alle Bewegung in ihm bloß als relativ zu betrachten notwendig, und alle Bewegung und Ruhe muß auf den absoluten Raum reduziert werden, wenn die Erscheinung derselben in einen bestimmten Erfahrungsbegriff (der alle Erscheinungen vereinigt) verwandelt werden soll" (35, IV, 383 f., 472 f.). Der logischen Allgemeinheit einer solchen Idee widerstrebt auch die Relativitätstheorie keineswegs: geht sie doch gerade davon aus, alle Bewegungen im Raume als bloß relativ zu betrachten, weil sie sie auf keine andere Weise in einen bestimmten Erfahrungsbegriff, der alle

6*

Erscheinungen vereinigt, zusammenzufassen vermag. Sie widerspricht, aus der Forderung der Totalität der Bestimmung, jedem Versuch ein einzelnes Bestimmtes, ein besonderes Bezugssystem zur Norm für alle übrigen zu machen. Die einzig gültige Norm ist lediglich die Idee der Natureinheit, der eindeutigen Bestimmung selbst. Aus diesem Gedanken heraus wird die mechanische Weltanschauung überwunden. Die „Einheit der Natur" wird von der allgemeinen Relativitätstheorie in einem neuen Sinne begründet, indem sie die Gravitationserscheinungen, die das eigentliche klassische Gebiet der älteren Mechanik bilden, mit den elektrodynamischen Erscheinungen unter einen obersten Grundsatz der Naturerkenntnis befaßt. Daß, um zu dieser „logischen Allgemeinheit der Idee" fortzuschreiten, manche vertraute Bilder der Vorstellung geopfert werden mußten, kann nicht befremden; — aber die „reine Anschauung" Kants kann man hierdurch nur betroffen glauben, wenn man sie selbst als bloßes Bild mißversteht, statt sie als konstruktive Methode zu begreifen und zu würdigen.

In der Tat läßt sich der Punkt, an welchem die allgemeine Relativitätstheorie jene methodische Voraussetzung, die bei Kant den Namen der „reinen Anschauung" führt, implizit anerkennen muß, genau bezeichnen. Er liegt im Begriff der „Koinzidenz", auf den sie den Inhalt und die Form aller Naturgesetze zuletzt zurückführt. Wenn wir die einzelnen Ereignisse durch ihre Raum-Zeit-Koordinaten x_1 x_2 x_3 x_4, x'_1 x'_2 x'_3 x'_4 u. s. f. bezeichnen, so besteht, wie sie hervorhebt, alles, was die Physik uns vom „Wesen" der Naturvorgänge zu lehren vermag, immer nur in Aussagen über Koinzidenzen oder Begegnungen solcher Punkte. Wir gelangen zur Konstruktion des physischen Raumes und der physischen Zeit lediglich auf diesem Wege: denn die Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit ist eben nichts anderes, als ein Ganzes derartiger Zuordnungen[1]. Hier liegt der Punkt, an dem die Wege des Physikers und die des Philosophen sich deutlich trennen — ohne daß sie sich darum widerstreiten müßten. Denn für den Physiker ist das, was er „Raum" und „Zeit" nennt, eine konkrete meßbare Mannigfaltigkeit, die er als Ergebnis der gesetzlichen Zuordnung der einzelnen Punkte gewinnt: für den Philosophen dagegen bedeuten Raum und Zeit nichts anderes, als die Formen und Modi, und somit die Voraussetzungen eben dieser Zuordnung selbst. Sie resultieren ihm nicht aus der Zuordnung, sondern sie sind eben diese

[1] Einstein [*17*] S. 13 f.; [*18*] S. 64.

Zuordnung und deren grundlegende Richtungen. Das Zuordnen unter dem Gesichtspunkt des Beisammen und des Nebeneinander oder unter dem Gesichtspunkt des Nacheinander: das ist es, was er unter dem Raume und der Zeit, als „Formen der Anschauung“ versteht. In diesem Sinne waren schon in der Kantischen Inauguraldissertation beide ausdrücklich definiert worden. »Tempus non est objectivum aliquid et reale . . . sed subjectiva conditio, per naturam mentis humanae necessaria, *quaelibet sensibilia certa lege sibi coordinandi* et intuitus purus . . Spatium est . . subjectivum et ideale et e natura mentis stabili lege proficiscens veluti *schema omnia omnino externe sensa sibi coordinandi*« (35; II, 416, 420). Wer dieses Gesetz und dieses Schema, diese Möglichkeit, Punkte auf Punkte zu beziehen und miteinander zu verknüpfen, anerkennt: der hat damit Raum und Zeit in ihrem „transzendentalen“ Sinne — denn von dem etwaigen psychologischen Nebensinn des Begriffs der Anschauungsform kann hier abgesehen werden — anerkannt. Mögen wir somit die „Weltpunkte“ x_1 x_2 x_3 x_4 und die Weltlinien, die aus ihnen resultieren, noch so abstrakt denken, indem wir unter den Werten x_1 x_2 x_3 x_4 nichts anderes als irgendwelche mathematische Parameter verstehen: so erhält schließlich die „Begegnung“ solcher Weltpunkte nur dann einen faßbaren Sinn, wenn wir jene „Möglichkeit des Beisammen“, die wir Raum und jene „Möglichkeit des Nacheinander“, die wir Zeit nennen, schon zu Grunde legen. Eine Koinzidenz, die nicht Identität bedeuten soll, eine Vereinigung, die auf der anderen Seite dennoch Sonderung ist, da derselbe Punkt als verschiedenen Linien zugehörig gedacht wird: dies alles fordert doch schließlich jene Synthesis des Mannigfaltigen, zu deren Ausdruck von Kant eben der Terminus der reinen Anschauung geprägt worden ist. Der allgemeinste Sinn dieses Terminus, der bei Kant freilich nicht überall gleich scharf festgehalten ist, weil sich ihm unwillkürlich speziellere Bedeutungen und Anwendungen unterschieben, ist kein anderer, als der der Reihenform des Neben- bezw. des Nacheinander überhaupt. Über die besonderen Maßverhältnisse in beiden ist damit freilich noch nichts vorausgesetzt — und sofern diese insbesondere von den Verhältnissen des P h y s i s c h e n im Raume abhängen, müssen wir uns hüten, über die Verhältnisse des „Wirklichen“ schon in den bloßen „Formen der Möglichkeit“ eine erschöpfende Bestimmung finden zu wollen (vgl. unten Nr. VI). Wenn z. B. in der mathematischen Grundlegung der Relativitätstheorie die Formel für den „Abstand“

zweier unendlich-benachbarter Punkte x_1, x_2, x_3, x_4 und x_1+dx_1, x_2+dx_2, x_3+dx_3, x_4+dx_4, abgeleitet wird, so kann dieser freilich nicht im gewohnten Sinne als eine starre euklidische Strecke gedacht werden, zumal es sich ja in ihm, durch die Hinzunahme der Zeit als vierter Dimension, um keine Raum-, sondern um eine Bewegungsgröße handelt — aber die grundlegende Form eines Beisammen und eines Nacheinander und ihrer beiderseitigen Beziehung und „Union" ist in diesem Ausdruck des allgemeinen Linienelements unverkennbar enthalten. Nicht als ob die Theorie hier, wie man ihr bisweilen vorgehalten hat, den Raum und die Zeit schon als ein fertig Gegebenes voraussetzte — von diesem erkenntnistheoretischen Zirkel ist sie durchaus freizusprechen —, wohl aber in dem Sinn, daß sie die Form und Funktion der Räumlichkeit und der Zeitlichkeit überhaupt als solche nicht entbehren kann. —

Was an diesem Punkte die Verständigung zwischen dem Physiker und dem Philosophen zu erschweren scheint, ist die Tatsache, daß hier ein gemeinsames Problem vorliegt, dem beide sich jedoch von ganz verschiedenen Seiten her nähern. Der Prozeß der Messung interessiert den Erkenntniskritiker nur in soweit, als er die Begriffe, die in ihm gebraucht werden, in systematischer Vollständigkeit zu überblicken und in möglichster Schärfe zu definieren sucht. Aber für den Physiker bleibt jede solche Definition unbefriedigend und im Grunde unfruchtbar, solange sie nicht zugleich mit einer bestimmten Anweisung verbunden ist wie die Messung im konkreten Einzelfalle anzustellen ist. „Der Begriff existiert für den Physiker erst dann" — so sagt Einstein einmal knapp und bezeichnend —, „wenn die Möglichkeit gegeben ist im konkreten Falle herauszufinden, ob der Begriff zutrifft oder nicht" (18, S. 14). Deshalb soll z. B. der Begriff der Gleichzeitigkeit erst dann einen bestimmten Sinn erhalten, wenn die Methode angegeben wird, nach welcher durch gewisse Messungen, durch Anwendung optischer Signale, das zeitliche Zusammenfallen zweier Ereignisse bestimmt wird: — und die Verschiedenheit, die sich in den Resultaten dieser Messung herausstellt, scheint auch die Vieldeutigkeit des Begriffs selbst zur Folge haben zu müssen. Der Philosoph hat dieses Verlangen des Physikers nach konkreter Bestimmtheit der Begriffe unbedingt anzuerkennen; aber er wird freilich andererseits immer wieder darauf hinweisen, daß es letzte ideelle Bestimmtheiten sind, ohne die auch das Konkrete nicht gedacht und nicht verständlich gemacht werden kann. Man kann, um sich den Gegensatz der Fragestellung,

der hier zugrunde liegt, zu verdeutlichen, der Äußerung Einsteins eine Leibnizische Äußerung gegenüberstellen. «On peut dire» — heißt es in Leibniz' «Nouveaux Essais» — qu'il ne faut point s'imaginer deux étendues, l'une abstraite, de l'espace, l'autre concrète, du corps; le concret n'étant tel que par l'abstrait». (43, V, 115). Wie man sieht ist es die Einheit des Abstrakten und Konkreten, des Ideellen und Empirischen, in deren Forderung hier der Physiker und der Philosoph übereinkommen; aber der eine schreitet von der Erfahrung zur Idee, der andere von der Idee zur Erfahrung fort. An der „prästabilierten Harmonie zwischen der reinen Mathematik und der Physik" hält auch die Relativitätstheorie fest: Minkowski hat in den bekannten Schlußworten seines Vortrages „Raum und Zeit" diesen Leibnizischen Terminus ausdrücklich wieder aufgenommen und zu Ehren gebracht. Aber diese Harmonie ist für den Physiker die unbestrittene Prämisse, von der er zu den besonderen Folgerungen und Anwendungen weiterstrebt, während für den Erkenntniskritiker ihre „Möglichkeit" zum eigentlichen, grundlegenden Problem wird. Die Gründe dieser Möglichkeit findet er zuletzt darin, daß schon jede physikalische Setzung, jede einfachste Größenbestimmung, die durch das Experiment und durch die konkrete Messung festgestellt wird, an allgemeine Bedingungen gebunden ist, die in der reinen Mathematik zur gesonderten Behandlung und Erkenntnis gelangen — daß sie bestimmte logisch-mathematische Konstanten in sich schließt. Wollte man den Inbegriff dieser Konstanten in eine kurze Formel zusammenfassen, so könnte man den Zahlbegriff, den Raumbegriff, den Zeitbegriff und den Funktionsbegriff als die Grundmomente bezeichnen, die schon in jede Frage, die die Physik sich stellen kann, als Voraussetzungen eingehen. Keiner dieser Begriffe kann entbehrt oder auf den andern reduziert werden, so daß vom erkenntniskritischen Standpunkt jeder ein spezifisches und eigentümliches Denkmotiv darstellt — aber jeder von ihnen besitzt andererseits nur gemeinsam mit den andern und in systematischer Verknüpfung mit ihnen einen tatsächlichen empirischen Gebrauch. Die Relativitätstheorie zeigt mit besonderer Deutlichkeit, wie insbesondere das funktionale Denken es ist, das auch in jeder räumlich-zeitlichen Bestimmung als notwendiges Motiv mitwirkt. So kennt die Physik ihre Grundbegriffe niemals als ein logisches An-sich, sondern nur in ihrem wechselseitigen Zusammenschluß — aber der Erkenntnistheorie muß es freistehen, dieses Produkt dennoch analytisch in

seine einzelnen Faktoren zu zerlegen. Sie kann daher den Satz, daß der Sinn eines Begriffs mit seiner konkreten Anwendung zusammenfällt, nicht zugeben: sondern sie wird umgekehrt darauf bestehen, daß dieser Sinn schon feststehen muß, ehe irgendeine Anwendung einsetzen kann. Demgemäß wird auch der Gedanke von Raum und Zeit, wird das, was sie als Verknüpfungs- und Ordnungsformen bedeuten, durch die Messung nicht erst geschaffen, sondern er wird in ihr und durch sie nur näher determiniert und mit einem bestimmten Inhalt erfüllt. Wir müssen den Begriff des „Ereignisses", als eines zeitlich-räumlichen, erfaßt, wir müssen den in ihm ausgedrückten Sinn verstanden haben, ehe wir nach der Koinzidenz von Ereignissen fragen und sie durch spezielle Methoden der Messung festzustellen versuchen können. —

Allgemein sieht sich die Physik durch ihr Grundproblem von Anfang an zwischen zwei Bereiche gestellt, die sie anzuerkennen und zwischen denen sie zu vermitteln hat, ohne weiter nach ihrem „Ursprung" zu fragen. Auf der einen Seite steht die Mannigfaltigkeit der Empfindungsdaten, auf der anderen eine Mannigfaltigkeit reiner Form- und Ordnungsfunktionen. Die Physik ist als Erfahrungswissenschaft gleich sehr an die „materialen" Inhalte, die ihr die sinnliche Wahrnehmung bietet, wie an diese Formprinzipien gebunden, in denen sich die allgemeinen Bedingungen der „Möglichkeit der Erfahrung" ausdrücken. Sie hat so wenig das eine, wie das andere — das Ganze der empirischen Inhalte wie das Ganze der charakteristischen naturwissenschaftlichen Denkformen — zu „erfinden" oder deduktiv abzuleiten, sondern ihre Aufgabe geht darin auf, das Reich der „Formen" fortschreitend auf die Data der empirischen Beobachtung, und umgekehrt diese auf jene, zu beziehen. Auf diese Weise verliert das sinnlich Mannigfaltige immer mehr seinen „zufälligen" anthropromorphen Charakter und nimmt das Gepräge des Gedankens, das Gepräge der systematischen Formeinheit an. Hierbei darf freilich die „Form", eben weil sie das aktive und gestaltende, das eigentlich schöpferische Moment darstellt, nicht als starre, sondern sie muß als lebendige und bewegliche Form gefaßt werden. Immer mehr begreift der Gedanke, daß sie ihm in ihrer Besonderung nicht mit einem Schlage gegeben werden kann, sondern, daß ihr Bestand sich nur in ihrem Werden und im Gesetz dieses Werdens für ihn enthüllt. Die Geschichte der Physik stellt auf diese Weise nicht die Geschichte der Entdeckung einer einfachen Reihe von „Tatsachen", sondern der Entdeckung immer neuer

spezieller D e n k m i t t e l dar. Aber in allem Wandel dieser Denkmittel bewährt sich nichtsdestoweniger, so wahr die Physik den „stetigen Gang einer Wissenschaft“ geht, die Einheit jener methodischen Prinzipien, auf denen ihre Fragestellung selbst beruht. Im Ganzen dieser Prinzipien nehmen Raum und Zeit ihre feste S t e l l e ein, wenngleich sie nicht in der Art fester Ding- oder Vorstellungsinhalte zu fassen sind. Die antike Anschauung glaubte die räumliche und zeitliche Einheit des Seins noch unmittelbar in der Vorstellung zu besitzen und zu umspannen. „Vergleichbar der Masse einer wohlgerundeten Kugel“ war dem Parmenides und im Grunde der gesamten antiken Welt das Sein gegeben. Mit der Reform des Copernicus war die Sicherheit dieses Besitzes ein für alle mal dahin. Die moderne Wissenschaft weiß, daß es eine bestimmte räumlich-zeitliche Ordnung der Erscheinungen für die Erkenntnis nur g i b t, indem sie sie fortschreitend a u f s t e l l t und daß das einzige Mittel, sie aufzustellen im Gesetzesdenken der Wissenschaft besteht. Aber die Aufgabe einer solchen allgemeinen Orientierung bleibt für den Gedanken bestehen und sie wird für ihn nur umso schärfer und dringender, je mehr er sich ihrer als einer abschließend niemals lösbaren Aufgabe bewußt wird. Gerade weil die Einheit des Raumes und der Zeit vor unserer empirischen Erkenntnis, vor all unseren empirischen Messungen ewig zu fliehen scheint, begreift das Denken, daß es sie ewig zu suchen hat und daß es sich hierbei immer neuer und immer schärferer Instrumente bedienen muß. Es ist das Verdienst der Relativitätstheorie, dies nicht nur auf einem neuen Wege erwiesen, sondern zugleich, im Grundsatz der Kovarianz der allgemeinen Naturgesetze gegenüber allen beliebigen Substitutionen, ein Prinzip aufgestellt zu haben, vermöge dessen das Denken die Relativität, die es aus sich heraus fordert, auch aus sich heraus zu beherrschen vermag.

An der Analyse der Raum- und Zeitmaße, die in der Relativitätstheorie durchgeführt wird, läßt sich dies Grundverhältnis bis ins Einzelne verfolgen. Diese Analyse beginnt damit, daß sie den Begriff der „Gleichzeitigkeit“ zweier Vorgänge nicht als ein selbstverständliches, unmittelbar bekanntes und gewisses Datum gelten läßt, sondern daß sie für ihn eine bestimmte E r k l ä r u n g fordert — eine Erklärung, die als physikalische, nicht in einer allgemeinen begrifflichen Definition, sondern nur in der Aufweisung der konkreten Maßmethoden bestehen kann, durch welche „Gleichzeitigkeit“ für uns allein empirisch aufweisbar ist. Hierbei wird zu-

nächst die Gleichzeitigkeit solcher Vorgänge, die sich praktisch an „demselben“ Raumpunkt oder in unmittelbarer räumlicher Nachbarschaft abspielen, vorausgesetzt: die Konstatierbarkeit der „Gleichzeitigkeit“ für räumlich unmittelbar benachbarte Ereignisse oder — präziser gesagt — für das raumzeitliche unmittelbare Benachbartsein (Koinzidenz) — so erklärt Einstein — nehmen wir an, ohne für diesen fundamentalen Begriff eine Definition zu geben (*17*, § 3). In der Tat erscheint hier der Rekurs auf eine vermittelnde physikalische Maßmethode weder erforderlich, noch möglich: denn jede solche Vermittlung würde doch zuletzt immer die Möglichkeit voraussetzen, eine bestimmte zeitliche Zuordnung zwischen verschiedenen Ereignissen zu vollziehen, also z. B. die „Gleichzeitigkeit“ eines bestimmten Ereignisses mit einer bestimmten Zeigerstellung einer am „selben“ Orte befindlichen Uhr festzustellen. Das eigentliche Problem der Relativitätstheorie setzt erst dort ein, wo es sich nicht mehr darum handelt, räumlich benachbarte, sondern räumlich voneinander entfernte Ereignisreihen miteinander zeitlich zu verknüpfen. Nehmen wir an, daß für die beiden Raumpunkte A und B eine bestimmte „Ortszeit“ festgestellt sei, so besitzen wir doch bisher nur eine „*A*-Zeit“ und eine *B*-Zeit, aber keine für A und B *gemeinsame* Zeit. Und bei jedem Versuch, eine solche gemeinsame Zeit, als empirisch meßbare Zeit, festzustellen, zeigt sich nun, daß er an ganz bestimmte empirische Voraussetzungen über die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes gebunden ist. Es ist die Annahme der gleichförmigen Lichtausbreitung, die implizit in alle unsere Aussagen über die Gleichzeitigkeit des räumlich-Entfernten eingeht. Eine für *A* und *B* gemeinsame Zeit wird ermittelt, indem man *durch Definition* festsetzt, daß die „Zeit“ welche das Licht braucht, um von A nach B zu gelangen, gleich ist der „Zeit“, welche es braucht, um von B nach A zu gelangen. Nehmen wir an, daß ein Lichtstrahl zur A-Zeit t_A von einer in A befindlichen Uhr nach B gesandt werde, dort zur B-Zeit t_B gegen A reflektiert werde und zur A-Zeit t'_A wieder nach A zurückgelange: so setzen wir definitorisch fest, daß die beiden Uhren in A und B „synchron“ heißen sollen, wenn $t_B - t_A = t'_A - t_B$ ist. Damit erst ist eine genaue Bestimmung darüber getroffen, was wir unter der „Zeit“ eines Ereignisses und unter der „Gleichzeitigkeit“ zweier Vorgänge zu verstehen haben.: „die »Zeit« eines Ereignisses ist die mit dem Ereignis gleichzeitige Angabe einer am

Orte des Ereignisses befindlichen, ruhenden Uhr, welche mit einer bestimmten ruhenden Uhr und zwar für alle Zeitbestimmungen mit der nämlichen Uhr, synchron läuft" (*16*, S. 28 f.).

Daß in die konkreten Festsetzungen, die hier für das Verfahren der physikalischen *Zeitmessung* getroffen werden, die „Formen" des Raumes und der Zeit überhaupt, als bestimmte Formen der Beziehung und Zuordnung verschiedener Inhalte, bereits eingehen, bedarf kaum der besonderen Erörterung. Schon in dem Begriff der „Ortszeit" als solcher sind beide unmittelbar gesetzt: denn in ihm ist ja die Möglichkeit behauptet, in einem bestimmten unterschiedenen „Hier" ein bestimmtes unterschiedenes „Jetzt" festzuhalten. Dieses „Hier" und „Jetzt" bedeutet nun freilich keineswegs das Ganze von Raum und Zeit — geschweige das Ganze der konkreten, durch Messung feststellbaren Beziehungen in beiden; aber es stellt das erste Fundament, die unentbehrliche Grundlage für beide dar. Der erste primitive Unterschied, der sich in der bloßen Setzung eines Hier und eines Jetzt ausdrückt, bleibt somit auch für die Relativitätstheorie als ein Indefinibles stehen, auf das sie ihre komplexen physikalischen Definitionen der Raum- und Zeitwerte gründet und zurückbezieht. Und indem sie sich weiterhin für diese Definitionen auf eine bestimmte Annahme über das Gesetz der Lichtausbreitung stützt, so schließt auch dies wieder die Voraussetzung in sich, daß ein bestimmter Zustand, den wir das „Licht" nennen, *nacheinander* in verschiedenen *Orten* und zwar nach einer bestimmten Regel auftrete, — worin das, was Raum und Zeit als bloße Schemata der Zuordnung überhaupt bedeuten, offenbar enthalten ist. Das erkenntnistheoretische Problem scheint sich freilich weiter zu verschärfen, wenn wir auf das gegenseitige Verhältnis der Raum- und Zeitwerte in den Grundgleichungen der Physik reflektieren. Was uns in diesen Gleichungen gegeben ist, ist die vierdimensionale „Welt", ist das Kontinuum der Ereignisreihe überhaupt, ohne daß in diesem Kontinuum die zeitlichen von den räumlichen Bestimmungsstücken sich sondern. Der anschauliche Unterschied, den wir zwischen einer räumlichen Strecke und einer zeitlichen Dauer unmittelbar zu erfassen glauben, spielt in dieser rein mathematischen Bestimmung keine Rolle mehr. Nach der Zeitgleichung der Lorentz-Transformation

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

verschwindet die Zeitdifferenz $\Delta t'$ zweier Ereignisse in bezug auf K' auch dann im allgemeinen nicht, wenn die Zeitdifferenz Δt derselben in bezug auf K verschwindet: rein räumliche Distanz zweier Ereignisse in bezug auf K hat also im allgemeinen zeitliche Distanz derselben in bezug auf K' zur Folge. Noch weiter ist diese Nivellierung der Raum- und Zeitwerte in der allgemeinen Relativitätstheorie entwickelt. Hier erweist es sich überhaupt als unmöglich, ein Bezugssystem aus starren Körpern und Uhren derart aufzubauen, daß Ort und Zeit durch relativ zueinander fest angeordnete Maßstäbe und Uhren direkt angezeigt werden; sondern es werden hier nur jedem Punkte der kontinuierlichen Ereignisreihe vier Zahlen x_1, x_2, x_3, x_4 zugeordnet, die keinerlei unmittelbare physikalische Bedeutung besitzen, sondern nur dazu dienen, die Punkte des Kontinuums in bestimmter, aber willkürlicher Weise zu numerieren. Diese Zuordnung braucht nicht einmal so beschaffen zu sein, daß eine bestimmte Gruppe von Werten x_1 x_2 x_3 als die räumlichen Koordinaten des Punktes aufgefaßt und der „zeitlichen" Koordinate x_4 gegenübergestellt sein müssen (*18*, S. 38, 64). Die Forderung Minkowskis, daß „Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken" sollen und daß nur noch „eine Art Union der beiden Selbständigkeit bewahren" soll, erscheint daher jetzt in aller Strenge erfüllt. Nun enthält allerdings auch diese Forderung für den kritischen Idealisten, der aufgehört hat, Raum und Zeit als Dinge an sich oder als abgesondert gegebene empirische Gegenstände zu denken, kein Schreckbild mehr. Denn ihm ist das Reich der Ideen freilich als solches ein „Reich der Schatten", wie Schiller es genannt hat, — sofern keiner reinen Idee unmittelbar ein konkreter wirklicher Gegenstand entspricht, sondern vielmehr die Ideen immer nur in ihrer systematischen Gemeinschaft und Gesamtheit als die Grundmomente der konkret-gegenständlichen Erkenntnis aufgewiesen werden können. Zeigt sich also, daß physische Raum- und Zeitmessungen immer nur gemeinsam vorgenommen werden können — so ist damit doch der Unterschied in dem prinzipiellen Charakter des Raumes und der Zeit, der Ordnung im Neben- und im Nacheinander nicht aufgehoben. Auch wenn es zutrifft, daß — wie Minkowski betont — niemand einen Ort anders bemerkt hat als zu einer Zeit, und eine Zeit anders als an einem Orte, so bleibt doch damit die Grenze zwischen dem, was unter örtlicher und zeitlicher Unterscheidung zu verstehen ist, begrifflich aufrecht erhalten. Das faktische Ineinander von Raum und

Zeit in allen empirisch-physikalischen Messungen schließt nicht aus, daß beide, zwar nicht als Gegenstände, wohl aber als Arten der Gegenstandsbestimmung grundsätzlich verschiedenes bedeuten. Wenn zwei Beobachter in verschiedenen Systemen K und K' die Einreihung der Ereignisreihe in die Ordnungen von Raum und Zeit verschieden vornehmen können, so ist es doch immer eine *Ereignisreihe*, also ein zugleich räumliches und zeitliches Kontinuum, was sie sich in ihren Messungen aufbauen. Jeder Beobachter unterscheidet von seinem Standpunkte der Messung ein Kontinuum, das er „Raum", von einem andern, das er „Zeit" nennt; aber er kann — wie die Relativitätstheorie lehrt — nicht ohne weiteres voraussetzen, daß die Einordnung der Phänomene in diese beiden Schemata sich von jedem Bezugssystem aus gleichartig gestalten muß. Mag daher auch — nach Minkowskis „Weltpostulat" — nur die in Raum und Zeit vierdimensionale Welt gegeben sein, aber „die Projektion in Raum und Zeit noch mit einer gewissen Freiheit vorgenommen werden" können, so ist auch damit nur etwas über die verschiedene räumlich-zeitliche Interpretation der Erscheinungen gesagt, während der Unterschied der Form des Raumes von der der Zeit unangetastet bleibt.

Im übrigen stellt auch hier der Bestand der Transformationsgleichung die Objektivität und Einheit wieder her, indem er erlaubt, die Ergebnisse, die in dem einen System gefunden wurden, wieder in die des anderen zu übersetzen. Auch wenn man den Minkowskischen Satz, daß nur die unauflösliche Union von Raum und Zeit Selbständigkeit besitze, dahin zu präzisieren und zu verschärfen gesucht hat, daß selbst diese Union für sich, nach den Ergebnissen der allgemeinen Relativitätstheorie, zum Schatten und zur Abstraktion werde und daß nur noch die Einheit von Raum, Zeit und Dingen zusammen eine selbständige Wirklichkeit besitze [1] — so führt uns gerade diese Verschärfung nur wieder zu unserer ersten erkenntnistheoretischen Einsicht zurück. Denn daß weder der „reine Raum", noch die „reine Zeit", noch die wechselseitige Verknüpfung beider, sondern nur ihre Erfüllung mit einem bestimmten empirischen Material dasjenige ergibt, was wir die „Wirklichkeit", was wir das physische Sein der Dinge und der Ereignisse nennen: das gehört zu den Grundlehren des kritischen Idealismus selbst. Kant selbst ist nicht müde geworden, immer wieder auf diesen unlöslichen Zusammenhang und auf diese wechselseitige Korrelation

[1] S. Schlick [79], S. 51; vgl. S. 22.

der räumlich-zeitlichen Form und des empirischen Inhalts im Bestand und Aufbau der Erfahrungswelt hinzuweisen. „Einen Gegenstand geben" — so heißt es bei ihm — wenn dieses nicht wiederum nur mittelbar gemeint sein soll, sondern unmittelbar in der Anschauung darstellen, ist nichts anderes als dessen Vorstellung auf Erfahrung . . . beziehen. Selbst der Raum und die Zeit, so rein diese Begriffe auch von allem Empirischen sind und so gewiß es auch ist, daß sie völlig a priori im Gemüte vorgestellt werden, würden doch ohne objektive Gültigkeit und ohne Sinn und Bedeutung sein, wenn ihr notwendiger Gebrauch an den Gegenständen der Erfahrung nicht gezeigt würde, ja ihre Vorstellung ist ein bloßes Schema, das sich immer auf die reproduktive Einbildungskraft bezieht, welche die Gegenstände der Erfahrung herbeiruft ohne die sie keine Bedeutung haben würden." (34, S. 195). Das „ideale" Sein, das Raum und Zeit „im Gemüte" besitzen, schließt also irgendeine Art von Sonderexistenz, die sie vor den Dingen und unabhängig von ihnen etwa besitzen sollen, so wenig in sich, daß es sie vielmehr ausdrücklich verneint: — die ideelle Trennung des reinen Raumes und der reinen Zeit von den Dingen (genauer von den empirischen Erscheinungen), duldet nicht nur, sondern fordert geradezu ihre empirische „Union". Diese Union hat die allgemeine Relativitätstheorie in einem neuen Sinne bewährt und erwiesen, indem sie tiefer als alle vorhergegangen physikalischen Theorien die Bedingtheit erkannte, die aller empirischen Messung, aller Feststellung konkreter räumlich-zeitlicher Maßverhältnisse anhaftet[1]. Dem Verhältnis von Erfahrung und Denken, das in der kritischen Lehre festgestellt wird, aber widerstreitet dies Ergebnis keineswegs, sondern es bestätigt vielmehr dies Verhältnis und bringt es nochmals zu schärfstem Ausdruck. Es ist auf den ersten Blick freilich seltsam und paradox, daß sich die verschiedensten erkenntnistheoretischen Standpunkte, daß sich der radikale Empirismus und Positivismus, wie der kritische Idealismus, gleichmäßig auf der Relativitätstheorie zur Stütze ihrer Grundanschauung berufen haben. Aber man hat dies zutreffend dadurch erklärt, daß in der Lehre vom empirischen Raum und von der empirischen Zeit — und eine solche stellt die Relativitätstheorie ja dar — Empirismus und Idealismus sich in bestimmten Voraussetzungen begegnen. Beide gestehen hier der Erfahrung die entscheidende

[1]) Zur Relativierung des Unterschiedes von Raum und Zeit vgl. auch weiter unten: Nr. VII.

Rolle zu — und beide lehren andererseits, daß jede exakte Messung allgemeine empirische Gesetze voraussetzt.[1] Aber um so dringender wird jetzt die Frage, wie wir zu jenen Gesetzen, auf denen die Möglichkeit aller empirsichen Messung beruht, gelangen und welche Art der Geltung, der logischen „Dignität" wir ihnen zugestehen. Der strenge Positivismus hat hierauf nur eine Antwort: für ihn ist alle Gesetzes- wie alle Gegenstandserkenntnis in den einfachen Elementen der Empfindung gegründet und kann über ihren Bereich niemals hinausgehen. Das Wissen von Gesetzen trägt demnach im Grunde den gleichen, rein passiven Charakter, der unserem Wissen von irgendwelchen einzelnen sinnlichen Qualitäten zukommt. Die Gesetze werden gleich Dingen behandelt, deren Eigenschaften man durch unmittelbare Wahrnehmung ablesen kann. Mach versucht — von seinem Standpunkt durchaus konsequent — diese Betrachtungsweise auch auf die reine Mathematik und auf die Ableitung ihrer Grundrelationen auszudehnen. Die Art, in der wir den Differentialquotienten einer bestimmten Funktion ermitteln — so führt er gelegentlich aus — unterscheidet sich prinzipiell in nichts von der Art, in der wir irgendwelche Beschaffenheiten oder Änderungen an physischen Dingen feststellen. Wie im einen Falle das Ding, so unterwerfen wir im anderen Falle die Funktion gewissen Operationen und beobachten einfach, wie sie hierauf „reagiert". Die Reaktion der Funktion $y=x^m$ auf die Operation des Differentiierens, aus der sich die Gleichung $\frac{dy}{dx}=mx^{m-1}$ ergibt, „ist ein Kennzeichen von x^m, gerade so wie die blaugrüne Farbe auf die Lösung von Kupfer in Schwefelsäure" (49, S. 75). Hier liegt die scharfe Grenzscheide zwischen dem kritischen Idealismus und einem Positivismus Mach'scher Prägung klar vor uns. Daß die Gleichungen, welche größere oder kleinere Gebiete beherrschen, als das eigentlich Bleibende und Substantielle anzusehen sind, weil sie es sind, dessen Ermittlung ein stabiles Weltbild ermöglicht,[2] daß sie somit den Kern der physikalischen Gegenständlichkeit ausmachen: das ist die Grundanschauung, in der beide Auffassungen zusammentreffen. Nur die Art der Feststellung, der exakten Gewinnung und Begründung dieser Gleichungen steht in Frage. Alle Gleichungen — so betont der Idealismus gegenüber dem Standpunkte der „reinen Erfahrung" als Standpunkt der bloßen Empfindung — sind Ergebnisse der Messung: alle Messung aber

[1] [*8*] S. 191 ff.; vgl. Sellien, [*81*] S. 14 ff.
[2] S. Mach (*49*), S. 429.

setzt bestimmte theoretische Prinzipien und in ihnen bestimmte allgemeine Funktionen der Verknüpfung, der Formung und Zuordnung voraus. Wir messen niemals bloße Empfindungen, noch messen wir mit bloßen Empfindungen — sondern wir müssen, um überhaupt zu irgendwelchen Maßbeziehungen zu gelangen, das „Gegebene" der Wahrnehmung immer schon überschritten und es durch ein begriffliches Symbol ersetzt haben, das keinerlei Abbild mehr im unmittelbar Empfundenen und Empfindbaren besitzt. Wenn es irgendetwas gibt, was als typisches Beispiel für diesen Sachverhalt gelten kann, so ist es die Entwicklung, die die moderne Physik in der Relativitätstheorie genommen hat. Von neuem bewährt sich hier, wie jede physikalische Theorie, um zu einem begrifflichen Ausdruck und zu einem begrifflichen Verständnis der Tatsachen der Erfahrung zu gelangen, sich zuvor von der Form, in der diese Tatsachen zunächst und unmittelbar der Wahrnehmung gegeben sind, loslösen muß.[1]) Daß die Relativitätstheorie sich auf Erfahrung und Beobachtung gründet, steht natürlich außer Frage. Aber auf der anderen Seite besteht doch ihre wesentliche Leistung erst in der neuen D e u t u n g, die sie den beobachteten Tatsachen gibt; — in der begrifflichen Interpretation, durch die sie fortschreitend dazu geführt wird, die wichtigsten D e n k m i t t e l der klassischen Mechanik und der älteren Physik einer Nachprüfung und einer kritischen Umbildung zu unterziehen. Mit Recht hat man darauf hingewiesen, daß es gerade die älteste Erfahrungstatsache der Mechanik, die Gleichheit der trägen und schweren Masse gewesen ist, die vermöge der neuen Deutung, die sie durch Einstein erfuhr, zum Angelpunkt der allgemeinen Relativitätstheorie geworden ist. [*24a.*] Die Art, in der aus dieser Tatsache das Äquivalenzprinzip und mit ihm die Grundlage der neuen Gravitationstheorie abgeleitet worden ist, kann geradezu als ein logisches Schulbeispiel für die Bedeutung dienen, die dem reinen „Gedankenexperiment" auch innerhalb der Physik zukommt. Wir denken uns in die Lage eines Beobachters, der, in einem geschlossenen Kasten experimentierend, in diesem feststellte, daß alle sich selbst überlassenen Körper sich stets mit konstanter Beschleunigung gegen den Boden des Kastens zu bewegen. Diese Tatsache läßt sich für den Beobachter b e g r i f f l i c h in doppelter Weise repräsentieren: einmal durch die Annahme, daß er sich in einem zeitlich konstanten Schwerefelde be-

[1]) Vgl. D u h e m (*15*, S. 322): „Les faits d'expérience, pris dans leur brutalité native, ne sauraient servir au raisonnement mathématique; pour alimenter ce raisonnement, ils doivent être transformés et mis sous forme symbolique."

finde, in welchem der Kasten ruhend aufgehängt ist — dann aber durch die Annahme, daß dieser sich mit konstanter Beschleunigung nach oben bewege, wodurch der Fall der Körper in ihm sich als eine Trägheitsbewegung darstellen würde. Beides: die Trägheitsbewegung wie die Gravitationswirkung ist somit in Wahrheit ein einziges Phänomen, das von verschiedenen Seiten her gesehen und beurteilt wird. Daraus folgt, daß das Grundgesetz, das wir für die Bewegungen der Körper aufstellen, so beschaffen sein muß, daß es die Trägheits- und die Schwereerscheinungen gleichmäßig umfaßt. Wie man sieht, liegt hier kein aus einzelnen Beobachtungen abstrahierter Erfahrungssatz, sondern eine Vorschrift für unsere physikalische Begriffsbildung vor: eine Forderung, die wir nicht unmittelbar an die Erfahrung, wohl aber an unsere Art, sie gedanklich zu repräsentieren, stellen. „Gedankenexperimente" von solcher Kraft und Fruchtbarkeit lassen sich aus der rein empiristischen Theorie der physikalischen Erkenntnis nicht mehr erklären und rechtfertigen. Es steht nicht in Widerspruch hiermit, wenn Einstein selbst dankbar auf die entscheidenden Anregungen verweist, die er durch Mach erfahren hat [20]: denn zwischen dem, was Mach in seiner Kritik der Newtonischen Grundbegriffe als Physiker geleistet und den allgemein philosophischen Folgerungen, die er aus dieser Leistung gezogen hat, muß scharf geschieden werden. Mach selbst hat, wie bekannt, dem reinen „Gedankenexperiment" in seiner eigenen Logik der Physik einen weiten Spielraum zugebilligt; aber er hat damit, näher betrachtet, auch bereits den Boden der rein sensualistischen Begründung der Grundbegriffe der Physik verlassen.[1] Daß zwischen der Relativitätstheorie als solcher und der Mach'schen Philosophie kein notwendiger Zusammenhang besteht, geht u. a. auch daraus hervor, daß gerade einer der ersten Vertreter und Vorkämpfer dieser Theorie, Max Planck, es gewesen ist, der unter allen modernen Physikern die Voraussetzungen dieser Philosophie am schärfsten kritisiert und bekämpft hat (69). Eben dann, wenn man die Relativitätstheorie als eine Leistung und ein Ergebnis des reinen Erfahrungsdenkens versteht, erscheint sie damit zugleich als ein Beweis und eine Bestätigung der konstruktiven Kraft, die diesem Denken selbst innewohnt und durch die das System der physikalischen Erkenntnis sich von einer bloßen „Rhapsodie von Wahrnehmungen" unterscheidet.

---

[1]) S. Mach (*50*, S. 180 ff); vgl. (*8*) S. 316 ff. u. (*39*) S. 86 f.

VI.

EUKLIDISCHE UND NICHT-EUKLIDISCHE GEOMETRIE.

Noch aber ist in den vorangehenden Betrachtungen nur nebenher einer Leistung der allgemeinen Relativitätstheorie gedacht worden, die wie kaum eine zweite eine „Revolution der Denkart" in sich zu schließen scheint. Bei der Durchführung der Theorie erweist es sich, daß die bisherigen Euklidischen Maßbestimmungen unzulänglich werden: sie kann nur erfolgen, wenn wir von dem Euklidischen Kontinuum, das noch der speziellen Relativitätstheorie zugrunde lag, zu einem Nicht-Euklidischen vierdimensionalen raum-zeitlichen Kontinuum übergehen und in ihm alle Verhältnisse der Erscheinungen zum Ausdruck bringen. Damit scheint eine Frage, die die Erkenntnistheorie der letzten Jahrzehnte aufs lebhafteste beschäftigt hat, und auf die innerhalb ihrer selbst die verschiedensten Antworten versucht worden sind, auf physikalischem Wege entschieden. Die Physik beweist jetzt nicht nur die Möglichkeit, sondern auch die Wirklichkeit der Nicht-Euklidischen Geometrie: sie zeigt, daß wir die Verhältnisse, die im „wirklichen" Raume gelten, nur dann theoretisch verstehen und theoretisch darstellen können, wenn wir sie in der Sprache einer vierdimensionalen, Nicht-Euklidischen Mannigfaltigkeit wiedergeben.

Diese Lösung des Problems von seiten der Physik war von der einen Seite seit langem ebenso lebhaft erhofft worden, wie ihrer Möglichkeit von der anderen Seite lebhaft widersprochen wurde. Schon die ersten Begründer und Vertreter des Gedankens der Nicht-Euklidischen Geometrie versuchten das Experiment und die konkrete Messung zur Bestätigung ihrer Grundanschauung heranzuziehen. Gelänge es — so schlossen sie — durch exakte irdische oder astronomische Messungen festzustellen, daß in Dreiecken mit sehr großen Seitenlängen die Winkelsumme von zwei Rechten abweicht, so wäre damit der Erfahrungsbeweis erbracht, daß in „unse-

rem" empirischen Raum nicht die Sätze der Euklidischen Geometrie, sondern die einer anderen gültig seien. So benutzte z. B. Lobatschefsky, wie bekannt, ein Dreieck $E_1 E_2$ S, dessen Basis $E_1 E_2$ von dem Durchmesser der Erdbahn, dessen Spitze S durch den Sirius gebildet wird, und glaubte auf diesem Wege zu einer empirischen Feststellung einer etwaigen konstanten Krümmung unseres Raumes gelangen zu können (48). Der methodische Grundfehler jedes derartigen Versuchs aber mußte sich bei schärferer erkenntnistheoretischer Analyse des Problems sogleich ergeben — und er ist, von seiten der Mathematiker, mit besonderem Nachdruck von H. Poincaré bezeichnet worden. Alle Messungen — so wendet Poincaré mit Recht ein — betreffen niemals den Raum selbst, sondern immer nur das empirisch-Gegebene, das Physische im Raume. Kein Experiment kann uns daher etwas über die idealen Gebilde, über die Geraden und Kreise lehren, die die reine Geometrie zu Grunde legt: was es uns gibt, ist immer nur die Kenntnis von den Verhältnissen materieller Dinge und Vorgänge. Die Sätze der Geometrie sind daher durch Erfahrung weder zu bestätigen noch zu widerlegen. Keine Erfahrung wird jemals mit dem Postulat Euklids in Widerspruch treten: aber andererseits wird auch keine Erfahrung jemals mit dem Postulat Lobatschefskys in Widerspruch treten. Denn gesetzt, daß irgendeine Erfahrung uns eine Abweichung der Winkelsumme bestimmter sehr großer Dreiecke zeigen könnte, so würde die begriffliche Repräsentation dieser Tatsache niemals darin zu bestehen brauchen und im Grunde methodisch auch nicht darin bestehen können, die Axiome der Geometrie, sondern vielmehr darin, bestimmte Hypothesen über physische Dinge abzuändern. Was wir in Wahrheit erfahren hätten, wäre nicht eine andere Struktur des Raumes, sondern ein neues Gesetz der Optik, das uns lehrt, daß die Fortpflanzung des Lichtes nicht streng geradlinig erfolgt. „Wie man sich auch drehen und wenden möge" — so schließt Poincaré daher — es ist unmöglich, mit dem Empirismus in der Geometrie einen vernünftigen Sinn zu verbinden (72, S. 92 ff.). Gilt diese Entscheidung und läßt sich andererseits erweisen, daß unter allen möglichen in sich widerspruchsfreien Geometrien der Euklidischen ein bestimmter Vorzug der „Einfachheit" zukommt, sofern sie das Minimum jener Bedingungen definiert, unter denen Erfahrung überhaupt möglich ist, so wäre damit auch erkenntniskritisch eine prinzipielle Ausnahmestellung für sie begründet. Es würde sich dann zeigen, daß die verschiedenen Geo-

metrien, die rein formal, was ihre logische Denkbarkeit betrifft, einander freilich gleichstehen, doch in ihrer Fruchtbarkeit für die Grundlegung der Erfahrungswissenschaft verschieden sind. „Prinzipiell unterschieden voneinander" — so dürfte man jetzt schließen — sind die Geometrien nur im Hinblick auf ihr erkenntnistheoretisches Verhältnis zum Begriff der Erfahrung; denn positiv ist dieses Verhältnis nur bei der Euklidischen Geometrie"[1]).

Gegenüber der neuen Entwicklung, die die Physik in der allgemeinen Relativitätstheorie genommen hat, aber scheint nun diese Entscheidung der Erkenntnistheorie endgültig hinfällig zu werden. Immer wieder hatte man sich darauf berufen, daß in dem Kampf um die erkenntnistheoretische Gleichberechtigung der verschiedenen Geometrien das Wertentscheidende nicht in der formalen, sondern in der transzendentalen Logik zu suchen sei, daß es nicht nur auf die Verträglichkeit einer Geometrie mit der Erfahrung, sondern auch auf ihre „positive Erträglichkeit" d. h. auf die „Grundstiftung der Erfahrung" ankomme, die sie zu geben vermag. Und diese letztere Leistung glaubte man allein in der Euklidischen Geometrie vor sich zu sehen. Sie erschien als die eigentliche und einzige „Möglichkeitsgrundlage für Wirklichkeitserkenntnis" — die anderen dagegen immer nur als Grundlage für Mögliches. Aber gegenüber der außerordentlichen Leistung, die die Begriffe und Sätze der Riemann'schen Geometrie in der Grundlegung und im Aufbau der Einstein'schen Gravitationstheorie vollbracht haben, läßt sich dieses Urteil nicht aufrecht erhalten. Jetzt scheint man vielmehr — gestützt auf das gleiche logische Wertkriterium — zu dem umgekehrten Schluß gelangen zu müssen: der Nicht-Euklidische Raum ist der allein „wirkliche", während der Euklidische eine bloße abstrakte Möglichkeit darstellt. In jedem Falle sieht sich jetzt die Logik der exakten Wissenschaft vor ein neues Problem gestellt. Die Tatsache der Fruchtbarkeit der Nicht-Euklidischen Geometrie für die Physik darf sie, da sie sich nicht nur in einzelnen Anwendungen, sondern im Aufbau eines neuen physikalischen Gesamtsystems bewährt hat, nicht länger bestreiten: was hingegen in Frage steht, ist die Deutung, die dieser Tatsache zu geben ist. Und hier drängt sich zunächst eine negative Entscheidung auf, die durch die ersten Grundsätze der Relativitätstheorie selbst gefordert wird. Welche Bedeutung wir dem Denken der Nicht-Euklidischen Geometrie auch für das Denken der Physik, für das reine Erfahrungsdenken

[1]) S. Hönigswald (*32*); zum Folg. vgl. Bauch (*1*) S. 126 ff.

zusprechen mögen: die Behauptung, daß irgendein Raum, er sei euklidisch oder nicht-euklidisch, der „wirkliche“ sei, hat für uns jeden Sinn verloren. Eben dies war ja das Ergebnis des allgemeinen Relativitätsprinzips, daß durch dasselbe dem Raum „der letzte Rest physikalischer Gegenständlichkeit“ genommen werden sollte. Nur verschiedene Maßverhältnisse innerhalb der physischen Mannigfaltigkeit, innerhalb jener unlöslichen Korrelation des Raumes, der Zeit und der physisch-realen Gegenstände, bei der die Relativitätstheorie als dem Letztgegebenen stehen bleibt, werden aufgewiesen; und es wird behauptet, daß diese Maßverhältnisse in der Sprache der Nicht-Euklidischen Geometrie ihren einfachsten exakt-mathematischen Ausdruck finden. Diese Sprache selbst aber ist und bleibt hierbei eine rein ideelle und symbolische — genau so wie es, richtig verstanden, auch die Sprache der Euklidischen Geometrie einzig sein konnte und wollte. Die Wirklichkeit, die sie allein ausdrücken kann und auszudrücken strebt, ist nicht die von Dingen, sondern von Gesetzen und Relationen. Und nun fragt sich erkenntnistheoretisch nur das eine: ob sich zwischen den Symbolen einer Nicht-Euklidischen Geometrie und der empirischen Mannigfaltigkeit der raum-zeitlichen „Ereignisse“ eine eindeutige Beziehung und Zuordnung herstellen läßt. Wenn die Physik diese Frage bejaht, so hat die Erkenntniskritik keinen Grund und kein Recht, sie zu verneinen. Denn das „Apriori“ des Raumes, das sie als Bedingung jeder physikalischen Theorie behauptet, schließt, wie sich gezeigt hat, keine Behauptung über eine bestimmte einzelne Struktur des Raumes in sich, sondern geht nur auf jene Funktion der „Räumlichkeit überhaupt“, die sich schon in dem allgemeinen Begriff des Linienelements ds als solchen — ganz abgesehen von seiner näheren Bestimmung — ausdrückte.

Zeigt sich daher, daß die Bestimmung dieses Elements, wie sie in der Euklidischen Geometrie vollzogen ist, für die Bewältigung gewisser Probleme der Naturerkenntnis nicht ausreicht, so kann rein methodisch betrachtet nichts hindern, eine andere Maßbestimmung, sofern sie sich physikalisch als notwendig und fruchtbar erweist, an ihre Stelle zu setzen. Nur muß man sich in dem einen wie in dem andern Falle hüten, die „prästabilierte Harmonie zwischen der reinen Mathematik und der Physik“, die sich uns im Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnis immer reicher und tiefer erschließt, im Sinne einer naiven Abbildtheorie mißzuverstehen. Die Gebilde der Geometrie — der Euklidischen sowohl, wie

die Nicht-Euklidischen — besitzen in der Welt des Daseins nirgends ein unmittelbares Korrelat. Sie existieren so wenig physisch in den Dingen, als sie etwa psychisch in unserer „Vorstellung“ existieren, sondern all ihr „Sein“ d. h. ihr Geltungs- und Wahrheitswert geht in ihrer ideellen Bedeutung auf. Der Bestand, der ihnen kraft ihrer Definition, kraft eines reinen logischen Setzungsaktes zukommt, ist mit jeder Art empirischer „Wirklichkeit“ prinzipiell unverwechselbar und unvertauschbar. So kann denn auch die Anwendbarkeit, die wir irgendwelchen Sätzen der reinen Geometrie zugestehen, niemals darauf beruhen, daß die Elemente der ideell-geometrischen und der empirischen Mannigfaltigkeit in irgendeiner Weise zur unmittelbaren Deckung gebracht werden. An die Stelle einer derartigen sinnlich-anschaulichen Kongruenz muß vielmehr ein komplexer, durchaus vermittelter Relationszusammenhang treten. Für das, was die Punkte, die Geraden und Ebenen der reinen Geometrie bedeuten, kann es kein Abbild und keine Entsprechung innerhalb der Welt der sinnlichen Empfindung und Vorstellung geben. Selbst von irgendeinem Grade der Ähnlichkeit, von einer größeren oder geringeren Abweichung des „Empirischen“ vom Idealen kann streng genommen nicht gesprochen werden, da beide eben prinzipiell verschiedenen Gattungen angehören. Die theoretische Beziehung, die die Wissenschaft nichtsdestoweniger zwischen ihnen beiden herstellt, kann nur darin bestehen, daß sie, indem sie die inhaltliche Verschiedenheit der beiden Reihen durchaus zugibt und festhält, zwischen ihnen dennoch eine immer genauere und vollkommenere Zuordnung zu stiften versucht. Alle Bewährung, die die Sätze der Geometrie in der Physik finden können, ist stets nur auf diesem Wege möglich. Niemals läßt sich eine einzelne geometrische Wahrheit oder ein einzelnes Axiom, wie etwa der Parallelensatz, mit einzelnen Erfahrungen vergleichen — sondern immer ist es nur das Ganze eines bestimmten Axiomen-Systems, das wir dem Ganzen der physikalischen Erfahrung gegenüberstellen können. Was Kant von den Verstandesbegriffen im allgemeinen sagt, daß sie nur dazu dienen, „Erscheinungen zu buchstabieren, um sie als Erfahrungen lesen zu können“ — das gilt im Besonderen auch von den Raumbegriffen. Sie sind nur die Buchstaben, die wir erst zu Worten und Sätzen formen müssen, wenn wir sie als Ausdrücke für die Gesetzlichkeit der Erfahrung brauchen wollen. Wird auf diesem mittelbaren Wege das Ziel der Übereinstimmung nicht erreicht; — scheint es, daß die physikalischen Ge-

setze, zu denen uns die Beobachtung und Messung hinführt, sich durch ein bestimmtes Axiomen-System nicht hinreichend genau und hinreichend einfach repräsentieren und ausdrücken lassen, — so steht es uns zunächst frei, welchen der beiden Faktoren wir einer Abwandlung unterziehen wollen, um die vermißte Übereinstimmung zwischen ihnen herzustellen. Das Denken wird, bevor es zu einer Variation seiner „einfachen" geometrischen Grundsetzungen schreitet, zunächst die komplexen physischen Bedingungen, die in die Messung eingehen, für die mangelnde Übereinstimmung verantwortlich machen: es wird die „physischen" Faktoren v o r den „geometrischen" variieren. Führt jedoch dieses Verfahren nicht zum Ziel, und zeigt sich auf der anderen Seite, daß sich eine überraschende Einheit, eine völlige systematische Geschlossenheit in der Formulierung der „Naturgesetze" erreichen läßt, sobald wir uns zu einer veränderten Fassung unserer geometrischen Methodik entschließen — so steht prinzipiell einer solchen Änderung nichts im Wege. Denn gerade dann, wenn wir die geometrischen Axiome nicht als Abbilder einer gegebenen Wirklichkeit fassen, sondern sie als rein ideelle und konstruktive Setzungen begreifen, unterstehen sie keinem anderen Gesetz, als demjenigen, das ihnen von der Systematik des Denkens und der Erkenntnis auferlegt wird. Zeigt diese sich in reinerer und vollkommenerer Form durchführbar, wenn wir von einem relativ einfacheren geometrischen System zu einem relativ komplexeren fortschreiten, so kann die Erkenntniskritik, von ihrem Standpunkt aus, hiergegen keinen Einspruch erheben. Nur dies wird sie behaupten müssen, daß auch in diesem Falle dem E m p i r i s m u s in der Geometrie „kein verständlicher Sinn abzugewinnen ist." Denn auch nun b e g r ü n d e t ja keineswegs die Erfahrung die geometrischen Axiome, sondern sie trifft unter ihnen, als verschiedenen logisch-möglichen Systemen, deren jedes in sich selbst streng rational gegründet ist, nur eine bestimmte Auswahl für ihren konkreten Gebrauch, für die Deutung der Erscheinungen[1]. Auch jetzt werden Platonisch gesprochen die Phänomene an den Ideen, an den Grundlegungen der Geometrie gemessen, nicht dagegen werden diese letzteren unmittelbar aus den sinnlichen Erscheinungen abgelesen.

Aber gerade dann, wenn man in diesem Sinne auch den Nicht-Euklidischen Geometrien ihre Bedeutung und Fruchtbarkeit für die

---

[1]) Zu diesem Verhältnis des Problems der Metageometrie zum Problem der »Erfahrung« vgl. bes. A l b e r t G ö r l a n d [28, S. 324 ff.]

physikalische Erfahrung zugesteht, darf und muß auf der anderen Seite, der allgemein-methodische Unterschied betont werden, der nichtsdestoweniger zwischen ihnen und der Euklidischen Geometrie bestehen bleibt. Dieser Unterschied kann jetzt nicht mehr ihrem Verhältnis zur Erfahrung entnommen, sondern er muß in gewissen „inneren" Momenten d. h. in allgemeinen relationstheoretischen Bestimmungen als gegründet erkannt werden. Eine logische Sonder- und Ausnahmestellung, eine grundlegende Einfachheit der ideellen Struktur ließe sich der Euklidischen Geometrie auch dann noch zuerkennen, wenn sie auf ihre bisherige Alleinherrschaft innerhalb der Physik Verzicht leisten müßte. Und hier ist es gerade der Grundgedanke der allgemeinen Relativitätstheorie, der, wenn wir ihn aus der Sprache der Physik wieder in die Sprache der Logik und der allgemeinen Methodenlehre zurückübersetzen, diese Sonderstellung begründen und begreiflich machen kann. Die Euklidische Geometrie beruht auf einem bestimmten Relativitätsaxiom, das ihr spezifisch eigen ist. Als Geometrie des Raumes mit der konstanten Krümmung 0 ist sie durch die durchgehende Relativität aller Orte und Größen gekennzeichnet. Ihre Formbestimmungen sind von irgendwelchen absoluten Größenbestimmungen prinzipell unabhängig. Während z. B. in der Geometrie Lobatschewskys die Winkelsumme in einem geradlinigen Dreieck von 180^{0} verschieden ist und zwar um so mehr, je mehr der Flächeninhalt des Dreiecks wächst, geht die absolute Größe der Linien in keinen der Sätze der Euklidischen Geometrie ein. Hier läßt sich daher zu jeder gegebenen Figur eine „ähnliche" konstruieren: die einzelnen Gebilde werden in ihrer reinen „Qualität" erfaßt, ohne daß irgendein bestimmtes „Quantum", ein absoluter Zahl- und Größenwert für ihre Definition in Betracht käme. Diese Indifferenz der Euklidischen Gebilde gegen alle absoluten Größenunterschiede und die sich hieraus ergebende Bestimmungs- und Eigenschaftslosigkeit der einzelnen Punkte im Euklidischen Raum bildet selbst eine logisch-positive Charakteristik des letzteren. Denn der Satz: »omnis determinatio est negatio« gilt auch hier. Die Setzung des Bestimmungslosen dient als Grundlage für weitere komplexere Setzungen und Bestimmungen, die sich an sie anschließen können. In dieser Hinsicht ist und bleibt die Euklidische Geometrie die „einfachste", nicht in irgendeiner praktischen, sondern in streng logischer Bedeutung: der Euklidische Raum ist, wie Poincaré es ausdrückt, „einfacher nicht

nur infolge unserer geistigen Gewohnheiten oder infolge irgendeiner direkten Anschauung, die wir von ihm besitzen, sondern er ist der an sich einfachste, ebenso wie ein Polynom ersten Grades einfacher ist als ein Polynom zweiten Grades." (72, S. 67). Diese logische Einfachheit, die dem Euklidischen Raum im System unserer Denkmittel zukommt und die von seinem Verhältnis zur Erfahrung noch ganz unabhängig ist, drückt sich u. a. darin aus, daß wir jeden etwa „gegebenen" Raum, der irgendein bestimmtes Krümmungsmaß besitzt, dadurch zum Euklidischen machen können, daß wir hinlänglich kleine Gebiete in ihm betrachten, für welche der durch die Krümmung bedingte Unterschied verschwindet. Die Euklidische Geometrie zeigt sich hierin als die eigentliche Geometrie unendlich-kleiner Bezirke und damit als der Ausdruck bestimmter Elementarverhältnisse, die wir im Denken zugrunde legen, wenngleich wir uns vorbehalten, von ihnen gegebenen Falles zu komplexeren Formen weiterzuschreiten.

Auch die Entwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie läßt diesen methodischen Vorzug der Euklidischen Geometrie unverändert bestehen. Denn in ihr gilt die Euklidische Maßbestimmung zwar nicht mehr schlechthin, wohl aber für gewisse „elementare" Bezirke, die sich durch eine bestimmte Einfachheit der physikalischen Bedingungen auszeichnen. Für die Durchführung des Grundgedankens der allgemeinen Relativitätstheorie zeigt sich der Euklidische Ausdruck des Linienelements insofern als ungenügend, als er die prinzipielle Forderung, bei jeder beliebigen Änderung des Bezugssystems seine Gestalt zu bewahren, nicht erfüllt. An seine Stelle hat daher das allgemeine Linienelement $\left(ds^2 = \sum_1^4 g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu\right)$ zu treten, das diese Forderung befriedigt. Betrachtet man indes unendlich-kleine vierdimensionale Gebiete, so wird ausdrücklich gefordert, daß für sie die Voraussetzungen der speziellen Relativitätstheorie und somit deren Euklidisches Grundmaß zutreffend bleiben. Die Form des allgemeinen Linienelements geht hier — indem die zehn Größen g, die in diesem als Funktionen der Koordinaten der einzelnen Punkte auftreten, bestimmte konstante Werte annehmen — in das Euklidische Element der speziellen Theorie über. Die physikalische Deutung dieses Verhältnisses aber besteht darin, daß die Größen $g_{\mu\nu}$ als diejenigen erkannt werden, welche das Gravitationsfeld in Hinsicht auf das gewählte Bezugssystem beschreiben. Die Bedingung, unter der

wir von den Voraussetzungen der allgemeinen Theorie wieder zur speziellen Relativitätstheorie und ihrem Euklidischen Linienelement gelangen können, läßt sich demnach jetzt auch in der Form aussprechen, daß wir nur solche Bezirke betrachten, in denen von der Wirkung von Gravitationsfeldern abgesehen werden kann. Dies ist für ein unendlich-kleines Gebiet stets möglich, und es gilt weiterhin auch für solche endliche Gebiete, in denen bei passender Wahl des Bezugssystems die betrachteten Körper keine merkliche Beschleunigung erfahren. Wie man sieht, wird auch hier die Veränderlichkeit der Größen $g_{\mu\nu}$, in der sich die Abweichung von der homogenen Euklidischen Raumform ausspricht, in einem bestimmten physischen Umstand als gegründet erkannt. Betrachten wir Gebiete, in denen dieser Umstand in Fortfall kommt oder heben wir ihn in Gedanken auf, so stehen wir alsbald wieder innerhalb der Euklidischen Welt. Der Satz Poincaré's, daß alle physikalische Theorie und alle physikalische Messung über die Euklidische oder Nichteuklidische Beschaffenheit des Raumes schlechterdings nichts aussagen könne, weil sie es niemals mit diesem, sondern immer nur mit der Beschaffenheit des Physischen im Raume zu tun habe, bleibt also in dieser Hinsicht völlig in Kraft. Die Abstraktion (oder besser gesagt, die reine Funktion) des homogenen Euklidischen Raumes wird auch durch die Relativitätstheorie in keiner Weise erschüttert, sondern sie wird durch sie nur schärfer als zuvor als solche erkannt.

In der Tat wird durch alles, was diese Theorie uns über die Bedingtheit der Messung lehrt, die reine Bedeutung der geometrischen Begriffe in keiner Weise eingeschränkt. Diese Begriffe sind freilich, wie sich jetzt auf neue zeigt, weder ein empirisches Datum, noch ein empirisches Dabile; aber ihr ideeller Bestand und Sinn wird dadurch nicht im mindesten angetastet. Daß in Gebieten, in denen wir mit Gravitationswirkungen von bestimmter Größe zu rechnen haben, die Vorbedingung für die gewohnte Methode der Messung in Wegfall kommt, daß wir uns hier nicht mehr der „starren Körper" als Längenmaße, der gewöhnlichen „Uhren" als Zeitmaße bedienen können, wird gezeigt. Aber eben diese Änderung der Maßverhältnisse kommt nicht auf Rechnung des Raumes, sondern auf Rechnung des durch das Gravitationsfeld bestimmten physikalischen Verhaltens von Maßstäben und Lichtstrahlen. (vgl. 83, S. 85 ff.). Die Sätze und Wahrheiten der Euklidischen Geometrie würden hiervon nur dann mitbetroffen werden, wenn man

voraussetzte, daß diese Sätze selbst nichts anderes als Verallgemeinerungen von empirischen Beobachtungen sind, die wir an festen Körpern angestellt haben. Eine solche Voraussetzung aber käme, erkenntnistheoretisch betrachtet, einer petitio principii gleich. Selbst Helmholtz hat, so sehr er auf den empirischen Ursprung der geometrischen Axiome dringt, gelegentlich auf eine andere Auffassung verwiesen, die ihren rein ideellen und „transzendentalen" Charakter zu retten vermöchte. Der Euklidische Begriff der Geraden könne, statt als eine Verallgemeinerung bestimmter physikalischer Beobachtungen, auch als ein reiner Idealbegriff gefaßt werden, der durch keine Erfahrung bestätigt oder widerlegt werden könnte, weil man erst nach ihm zu entscheiden hätte, ob irgend welche Naturkörper als feste Körper zu betrachten seien. Dann aber würden — wie er einwendet — die geometrischen Axiome freilich aufhören, synthetische Sätze im Sinne Kants zu sein, da sie nur etwas aussagen würden, was aus dem Begriffe der zur Messung notwendigen festen geometrischen Gebilde analytisch folgen würde (*30a*, II, 30). Bei diesem Einwand ist jedoch übersehen, daß es neben der Form der analytischen Identität, die Helmholtz hier ins Auge faßt und die er der Form des empirischen Begriffs als einzige entgegensetzt, auch grundlegende synthetische Einheitssetzungen gibt und daß die Axiome der Geometrie eben zu diesen gehören. Setzungen dieser Art sind zwar gleichfalls auf den Gegenstand gerichtet, sofern sie in ihrer Gesamtheit den Gegenstand „konstituieren" und seine Erkenntnis ermöglichen wollen; — aber keine von ihnen läßt sich, für sich genommen, als eine Aussage über Dinge oder Dingverhältnisse verstehen. Ob sie ihrer Aufgabe als Momente der empirischen Erkenntnis zu dienen, entsprechen, läßt sich vielmehr stets nur auf dem angegebenen mittelbaren Wege entscheiden: indem wir sie als Bausteine eines theoretisch-konstruktiven Gesamtsystems verwenden und sodann die Ergebnisse, die aus diesem folgen, mit den Ergebnissen der Beobachtung und Messung vergleichen. Daß hierbei jene Elemente, denen wir methodologisch eine bestimmte „Einfachheit" zuerkennen müssen, auch inhaltlich für den Aufbau der Naturgesetzlichkeit zureichen müssen, läßt sich a priori nicht fordern. Aber auch wenn dies nicht der Fall ist, überläßt sich nun das Denken nicht einfach passiv dem bloßen Stoffe der Erfahrung, sondern es entwickelt aus sich neue komplexere Formen, um mit ihnen den Forderungen des empirisch-Mannigfaltigen zu genügen.

Hält man an dieser allgemeinen Grundanschauung fest, so rückt damit auch eines der befremdlichsten und dem ersten Anschein nach anstößigsten Resultate der allgemeinen Relativitätstheorie in ein neues Licht. Es ist eine notwendige Konsequenz dieser Theorie, daß von einer unveränderlich gegebenen Maßgeometrie, die ein für alle Mal für das Ganze der Welt gilt, in ihr überhaupt nicht mehr gesprochen werden kann. Da die Maßverhältnisse des Raumes vielmehr durch das Gravitationspotential bestimmt werden und da dieses im allgemeinen von Ort zu Ort als veränderlich anzusehen ist: so ist die Folgerung nicht zu umgehen, daß es überhaupt keine einheitliche „Geometrie“ mehr für die Gesamtheit des Raumes und der Wirklichkeit gibt, sondern daß, je nach der spezifischen Beschaffenheit des Gravitationsfeldes an verschiedenen Stellen, auch verschiedene Formen der geometrischen Bestimmung einzutreten haben. Das scheint in der Tat der denkbar weiteste Abfall von der idealistischen, von der Platonischen Auffassung der Geometrie zu sein, nach der sie die „Wissenschaft des immer Seienden“, die Erkenntnis von dem ist, was „immer auf gleiche Weise sich verhält“. (ἀεὶ κατὰ ταὐτὰ ὡσαύτως ἔχον.) Der Relativismus scheint hier unmittelbar auf das Gebiet der Logik überzugreifen: die Relativität der Orte schließt die der geometrischen Wahrheit in sich. Und doch ist die Auffassung, die uns hier entgegentritt, auf der anderen Seite nur der schärfste Ausdruck dafür, daß das Problem des Raumes innerhalb der Relativitätstheorie jede ontologische Bedeutung überhaupt verloren hat. An die Stelle der Seinsfrage ist die rein methodologische Frage getreten. Nicht darum, was der Raum „i s t“ und ob ihm irgendeine bestimmte, sei es Euklidische, sei es Lobatschefsky'sche oder Riemann'sche Beschaffenheit zuzuschreiben ist, handelt es sich mehr, sondern darum, welcher G e b r a u c h von verschiedenen Inbegriffen geometrischer Voraussetzungen in der Darstellung der Naturerscheinungen und ihrer gesetzlichen Abhängigkeiten zu machen ist. Bezeichnen wir jeden solchen Inbegriff als einen besonderen „Raum“, so kann nun freilich nicht mehr die Rede davon sein, alle diese Räume als anschauliche Teile zu fassen, die zu einem anschaulichen Ganzen vereint und zusammengenommen werden können. Aber diese Unmöglichkeit beruht im Grunde darauf, daß wir es hier mit einer Problemstellung zu tun haben, die als solche jenseits der Grenzen und jenseits der Kompetenz der anschaulichen Darstellung überhaupt steht. Der Raum der reinen Anschauung ist immer nur der i d e e l l e : der nach den Gesetzen

dieser Anschauung konstruierte Raum; hier aber ist gar nicht mehr von derartigen ideellen Synthesen und ihrer Einheit, sondern von den Maßverhältnissen des Empirischen und Physischen die Rede. Diese Maßverhältnisse können nur auf Grund von Naturgesetzen ermittelt und festgestellt werden, indem wir von der dynamischen Abhängigkeit der Erscheinungen untereinander ausgehen und kraft dieser Abhängigkeit die Erscheinungen sich selbst wechselseitig ihre Stellen in der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit bestimmen lassen. Daß diese Form der dynamischen Bestimmung nicht mehr der Anschauung als solcher angehört, sondern daß es die „Regeln des V e r s t a n d e s“ sind, durch welche allein das Dasein der Erscheinungen synthetische Einheit bekommen und in einen bestimmten Erfahrungsbegriff zusammengenommen werden kann: das hat auch Kant entschieden betont (s. oben S. 79 ff.). Der Schritt über ihn hinaus, den wir nunmehr auf Grund der Ergebnisse der allgemeinen Relativitätstheorie zu vollziehen hätten, bestünde in der Einsicht, daß in diese verstandesmäßige Bestimmung, in welcher uns erst das empirisch-physikalische Weltbild entsteht, auch geometrische Axiome und Gesetze von anderer als Euklidischer Form eingehen können, und daß die Zulassung solcher Axiome die Einheit der Welt, d. h. die Einheit unseres Erfahrungsbegriffs von einer Gesamtordnung der Phänomene, nicht nur nicht zerstört, sondern sie von einer neuen Seite her erst wahrhaft begründet, indem auf diesem Wege die besonderen Naturgesetze, mit denen wir in der Raum-Zeit-Bestimmung zu rechnen haben, sich zuletzt in die Einheit eines obersten Prinzips — eben des allgemeinen Relativitätspostulats — zusammenfassen. Der Verzicht auf die anschauliche Einfachheit des Weltbildes würde also zugleich die Gewähr seiner größeren gedanklichen und systematischen Geschlossenheit in sich schließen. Dieser Fortgang aber kann, erkenntnistheoretisch betrachtet, nicht befremden: denn in ihm drückt sich nur ein allgemeines Gesetz des wissenschaftlichen und insbesondere des physikalischen Denkens aus. Statt ontologisch von einem Sein oder wohl gar vom Nebeneinander-Sein verschiedener und verschiedenkonstituierter „Räume“ zu sprechen, was freilich auf einen handgreiflichen Widerspruch hinaus käme, spricht die Relativitätstheorie rein methodisch von der Möglichkeit oder Notwendigkeit, in der Darstellung bestimmter physischer Mannigfaltigkeiten verschiedene Maßbestimmungen, d. h. verschiedene geometrische Begriffssprachen zur Anwendung zu bringen. Diese sagen nun freilich

nichts mehr über die „Existenz“ von Räumen aus, sondern sie weisen lediglich darauf hin, daß durch eine geeignete Wahl der geometrischen Voraussetzungen bestimmte physikalische Verhältnisse, wie die des Gravitationsfeldes oder auch die des elektromagnetischen Feldes mitbeschrieben werden können.

Der Zusammenhang zwischen dem reinen begrifflichen Denken, das sich im Aufbau der allgemeinen Mannigfaltigkeits- und Ordnungslehre betätigt, und der physikalischen Empirie erfährt hierin eine neue überraschende Bestätigung. Ein Gedanke, der ursprünglich lediglich aus dem immanenten Fortschritt der reinen mathematischen Spekulation, aus der ideellen Abwandlung der Hypothesen, die der Geometrie zu Grunde liegen, erwachsen war, dient jetzt unmittelbar als Form, in welche die Naturgesetze gegossen werden. Dieselben Funktionen, die zuvor als Ausdruck der metrischen Eigenschaften eines Nicht-Euklidischen Raumes aufgestellt waren, ergeben die Gleichungen für das Gravitationsfeld. Diese Gleichungen bedürfen somit zu ihrer Aufstellung nicht der Einführung neuer unbekannter, insbesondere fernwirkender Kräfte, sondern sie leiten sich aus der Bestimmung und Besonderung der allgemeinen Maßvoraussetzungen ab. Statt eines neuen Dingkomplexes genügt hier für die Theorie die Betrachtung eines neuen allgemeinen Bedingungskomplexes. Riemann hatte, als er seine Theorie entwarf, in prophetischen Worten, an die in der Diskussion über die allgemeine Relativitätstheorie oft erinnert worden ist, auf diese ihre künftige physikalische Bedeutung hingewiesen. Bei der „Frage nach dem inneren Grunde der Maßverhältnisse des Raumes“ — so betonte er — komme die Bemerkung zur Anwendung, daß bei einer diskreten Mannigfaltigkeit das Prinzip der Maßverhältnisse schon in dem Begriff dieser Mannigfaltigkeit enthalten ist, bei einer stetigen aber anderswoher hinzukommen muß. „Es muß also entweder das dem Raume zugrunde liegende Wirkliche eine diskrete Mannigfaltigkeit bilden oder der Grund der Maßverhältnisse außerhalb, in darauf wirkenden bindenden Kräften, gesucht werden. Die Entscheidung dieser Fragen kann nur gefunden werden, indem man von der bisherigen durch die Erfahrung bewährten Auffassung der Erscheinungen, wozu Newton den Grund gelegt, ausgeht und diese, durch Tatsachen, die sich aus ihr nicht erklären lassen, getrieben, allmählich umarbeitet: solche Untersuchungen, welche, wie die hier geführte, von allgemeinen Begriffen ausgehen, können nur dazu dienen, daß diese Arbeiten nicht durch

Beschränktheit der Begriffe gehindert und der Fortschritt im Erkennen des Zusammenhangs der Dinge nicht durch überlieferte Vorurteile gehemmt wird." (77). Was hier verlangt wird, ist also die volle Freiheit der geometrischen Begriffs- und Hypothesenbildung, weil erst durch sie auch das physikalische Denken zur vollen Wirksamkeit gelangen könne, weil es erst damit allen künftigen, aus der Erfahrung sich ergebenden Aufgaben mit einem gesicherten und systematisch vollkommenen Rüstzeug gegenüberstehe. Aber dieser Zusammenhang drückt sich bei Riemann freilich in der Sprache des Herbart'schen Realismus aus. Der reinen Form des geometrischen Raumes soll ein Wirkliches zugrunde liegen, in welchem die letzte Ursache für die inneren Maßverhältnisse dieses Raumes zu suchen sei. Vollziehen wir indes auch dieser Problemstellung gegenüber die kritische, die „Copernikanische" Drehung — fassen wir also die Frage nicht so, daß ein Wirkliches als Realgrund des Raumes, sondern daß der Raum als Idealgrund im Aufbau und Fortgang der Wirklichkeitserkenntnis erscheint — so ergibt sich uns alsbald eine charakteristische Umkehrung. Statt den „Raum" als ein für sich bestehendes Wirkliche zu betrachten, das gleich anderen Wirklichkeiten aus „bindenden Kräften" erklärt und abgeleitet werden müsse, fragen wir nun vielmehr, ob nicht jene apriorische Funktion, jene allgemeine ideelle Beziehung, die wir „Raum" nennen, verschiedene mögliche Ausgestaltungen in sich birgt, und unter ihnen auch solche, die geeignet sind, eine exakte und erschöpfende Darstellung bestimmter physikalischer Verhältnisse, bestimmter „Kraftfelder" zu liefern. Die Entwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie hat diese Frage bejaht: sie hat das, was bei Riemann als geometrische Hypothese, als bloße Möglichkeit des Denkens auftrat, als ein Organ der Wirklichkeitserkenntnis erwiesen. Die Newton'sche Dynamik wird hier in reine Kinematik und diese Kinematik letzten Endes in Geometrie aufgelöst. Der Inhalt dieser letzteren muß sich nun freilich erweitern, der „einfache" Euklidische Typus der geometrischen Axiome muß durch einen komplexeren ersetzt werden; aber dafür dringen wir nun auch, ohne den Umkreis der geometrischen Betrachtung zu verlassen, einen Schritt weiter ins Gebiet des Seins, d. h. ins Gebiet der empirischen Erkenntnis vor. Indem wir nicht bei der Form des Euklidischen Raumes, als einem ungeteilten Ganzen, stehen bleiben, sondern sie analytisch zerlegen, indem wir die Stellung der einzelnen Axiome und ihre wechselseitige Bedingtheit oder Unabhängig-

keit untersuchen, werden wir damit auf ein System rein apriorischer Mannigfaltigkeiten geführt, deren Gesetz das Denken konstruktiv entwirft; — und in diesem Entwurf besitzen wir nun zugleich neue Grundmittel, um die Verhältnisse des Realen, um die Struktur des empirisch-Mannigfaltigen zur Darstellung zu bringen.

Die realistische Wendung, daß die Maßverhältnisse des Raumes in gewissen physikalischen Bestimmungen, in „bindenden Kräften“ der Materie ihren Grund haben müssen, bringt dieses eigentümliche Doppelverhältnis freilich durchaus einseitig und daher, erkenntnistheoretisch betrachtet, ungenau und ungenügend zum Ausdruck. Denn gerade dieser metaphysische Gebrauch der Kategorie des Grundes würde die methodische Einheit, die hier bezeichnet werden soll, wieder aufheben. Was die relativistische Physik, die sich streng und konsequent aus einer Theorie der Raum- und Zeitmessung entwickelt hat, uns darbietet, ist ja in Wahrheit immer nur die Verschmolzenheit, die gegenseitige Determination der metrischen und der physikalischen Bestimmungen. In dieser aber besteht gar kein bloß einseitiges Verhältnis des Grundes zur Folge mehr, sondern nur ein reines Wechselverhältnis, eine Korrelation der „ideellen“ und „reellen“ Momente, der „Materie“ und der „Form“, des Geometrischen und des Physikalischen. Sofern wir in diesem Wechselverhältnis überhaupt noch eine Scheidung vornehmen und zulassen — sofern wir in ihm das eine Element als das „frühere“ und grundlegende, das andere als das „spätere“ und begründete ansetzen wollen, — kann dieser Unterschied immer nur als ein logischer, nicht als ein realer Unterschied gemeint sein. Und in diesem Sinne müßten wir alsdann freilich wieder die reine Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit als das logische Prius fassen: nicht als ob sie in irgendeinem Sinne außerhalb und vor der empirisch-physikalischen bestünde und gegeben wäre, sondern weil sie ein Prinzip und eine grundlegende Bedingung aller Erkenntnis empirisch-physikalischen Verhältnisse ausmacht. Der Physiker als solcher braucht freilich auf diesen Zusammenhang nicht mehr zu reflektieren: denn ihm ist in allen konkreten Messungen, die er vollzieht, die raumzeitliche und die empirische Mannigfaltigkeit immer nur in der einheitlichen Operation des Messens selbst, nicht in der abstrakten Sonderung ihrer einzelnen begrifflichen Elemente und Bedingungen gegeben.

Von diesen Betrachtungen aus erscheint nunmehr auch das Verhältnis zwischen der Euklidischen und der Nicht-Euklidischen

Geometrie in einem neuen Lichte. Der eigentliche Wertvorzug der Euklidischen Geometrie scheint auf den ersten Blick in ihrer konkret-anschaulichen Bestimmtheit zu bestehen, der gegenüber alle „Pseudogeometrien" zu leeren logischen „Möglichkeiten" verblassen. Diese Möglichkeiten bestehen nur für das Denken, nicht für das „Sein", sie erscheinen als analytische Begriffsspiele, die außer Betracht bleiben können, wenn es sich um die Erfahrung und um die „Natur", um die synthetische Einheit der Gegenstandserkenntnis, handelt. Diese Ansicht muß indeß, wenn wir auf unsere früheren Betrachtungen zurückblicken, eine eigentümliche und paradoxe Umkehrung erfahren. Der reine Euklidische Raum steht, wie sich jetzt zeigt, den prinzipiellen Anforderungen, die die empirisch-physikalische Erkenntnis stellt, nicht näher, sondern ferner als die Nicht-Euklidischen Mannigfaltigkeiten. Denn er ist, gerade weil er die logisch-einfachste Form der räumlichen Setzung darstellt, der inhaltlichen Komplexion, der m a t e r i a l e n B e s t i m m t h e i t des Empirischen nicht voll gewachsen. Seine Grundeigenschaft der Homogeneität, sein Axiom von der prinzipiellen Gleichwertigkeit aller Punkte, kennzeichnet ihn zugleich als abstrakten Raum: denn innerhalb der konkret-empirischen Mannigfaltigkeiten gibt es solche Gleichförmigkeit nirgends, sondern in ihnen herrscht durchgängige Differenzierung. Wollen wir, im Umkreis der geometrischen Relationen selbst, für diese Tatsache der Differenzierung einen begrifflichen Ausdruck schaffen, so bleibt nichts übrig, als die geometrische Begriffssprache in der Richtung auf das Problem des „Heterogenen" weiter zu entwickeln. Diese Entwicklung ist es, die in der Ausbildung der Metageometrie vor uns liegt. Indem sich hier der Begriff der speziellen dreidimensionalen Mannigfaltigkeit mit dem Krümmungsmaß 0 zu dem Gedanken eines Systems von Mannigfaltigkeiten mit verschiedener konstanter oder variabler Krümmung erweitert, wird damit eine neue ideelle Vorbereitung zur Beherrschung komplexer Mannigfaltigkeiten getroffen, werden neue begriffliche Symbole als Ausdrücke nicht für Dinge, sondern für mögliche gesetzliche Beziehungen geschaffen. Ob diese Beziehungen sich innerhalb der Erscheinungen an irgendeiner Stelle erfüllt und verwirklicht finden, kann lediglich die Erfahrung entscheiden. Aber nicht sie ist es, die den I n h a l t der geometrischen Begriffe b e g r ü n d e t, vielmehr greifen diese Begriffe ihr als m e t h o d i s c h e A n t i z i p a t i o n e n voraus — wie die Form der Ellipse lange als Kegelschnitt antizipiert war, ehe sie in der Bestimmung

der Planetenbahnen zur konkreten Anwendung und Bedeutung gelangte. Die Systeme der Nicht-Euklidischen Geometrie schienen, als sie zuerst auftraten, von jeder empirischen Bedeutung entblößt: aber in ihnen drückte sich gleichsam die gedankliche Bereitschaft für Probleme und Aufgaben aus, zu denen die Erfahrung erst später hinführen sollte. Wie heute der „absolute Differentialkalkul", der von Gauß, Riemann und Christoffel von rein mathematischen Erwägungen aus begründet wurde, in der Einstein'schen Gravitationstheorie zu einer überraschenden Anwendung gelangt, so muß die Möglichkeit einer solchen Anwendung für alle, selbst die entlegensten Konstruktionen der reinen Mathematik, und speziell der Nicht-Euklidischen Geometrie, offen gehalten werden. Denn immer noch hat es sich in der Geschichte dieser Wissenschaft gezeigt, daß gerade die vollkommene Freiheit der Mathematik die Gewähr und die Bedingung ihrer Fruchtbarkeit in sich schließt. Ins Gebiet des Konkreten dringt der Gedanke nicht vor, indem er die besonderen Erscheinungen gleich Bildern behandelt, die zu einem einzigen Mosaikbilde zu vereinen wären, sondern indem er, im Hinblick auf das Empirische und durch die Forderung seiner gesetzlichen Bestimmung geleitet, seine eigenen Bestimmungsmittel immer mehr verschärft und verfeinert. Wenn es für diesen logischen Sachverhalt noch eines Beweises bedurft hätte, so hätte die Entwicklung der Relativitätstheorie ihn erbracht. Schon von der speziellen Relativitätstheorie hat man gesagt, daß sie „die scheinbar handgreiflichsten Realitäten durch mathematische Konstruktionen ersetzt und in ihnen aufgelöst" habe (38, S. 13). Der Fortgang zur allgemeinen Relativitätstheorie hat sodann diesen konstruktiven Zug in ihr noch deutlicher ans Licht gebracht; aber er hat zugleich gezeigt, wie gerade hierdurch, gerade in dieser Auflösung der „handgreiflichen" Realitäten, der Zusammenhang der Theorie mit der Erfahrung sich auf einem ganz neuen Wege bewährt und herstellt. Je weiter das physikalische Denken fortschreitet und zu je höherer Allgemeinheit der Auffassung es sich erhebt: um so mehr scheint es die unmittelbaren Gegebenheiten, bei denen das naive Weltbild verharrt und in denen es aufgeht, aus dem Auge zu verlieren, so daß schließlich fast kein Rückweg mehr zu diesen Gegebenheiten übrig zu bleiben scheint. Und doch überläßt sich der Physiker diesen letzten und höchsten Abstraktionen in der Gewißheit und Zuversicht, gerade in ihnen die Realität, seine Realität in einem neuen und reicheren Sinne wiederzufinden. Auch im Fort-

gang der physikalischen Erkenntnis gilt das tiefe Wort des Heraklit, daß der Weg nach oben und der Weg nach unten derselbe ist: ὁδὸς ἄνω κάτω μίη. Auch hier gehören Aufstieg und Abstieg notwendig zusammen: die Richtung, die der Gedanke auf die universellen Prinzipien und Erkenntnisgründe nimmt, erweist sich zuletzt mit der Richtung auf die Besonderung der Phänomene und der Tatsachen nicht nur als vereinbar, sondern als ihr Korrelat und ihre Bedingung.

8*

VII.

DIE RELATIVITÄTSTHEORIE UND DAS PROBLEM DER REALITÄT.

Wir haben zu zeigen versucht, wie der neue Naturbegriff und Gegenstandsbegriff, den die Relativitätstheorie aufstellt, in der Form des physikalischen Denkens selbst gegründet ist und diese Form nur zu einem letzten Abschluß und einer letzten Klarheit bringt. Das physikalische Denken strebt danach, in reiner Objektivität nur den Gegenstand der Natur zu bestimmen und auszusprechen: aber es spricht dabei notwendig zugleich sich selbst, sein eigenes Gesetz und sein eigenes Prinzip aus. Hierin bewährt sich wieder jener „Anthropomorphismus" aller unserer Naturbegriffe, auf den Goethes Altersweisheit hinzudeuten liebte. „Alle Philosophie über die Natur bleibt doch nur Anthropomorphismus, d. h. der Mensch, eins mit sich selbst, teilt allem, was er nicht ist, diese Einheit mit, zieht es in die seinige herein, macht es mit sich selbst eins. . . . Wir mögen an der Natur beobachten, messen, rechnen, wägen usw., wie wir wollen, es ist doch nur unser Maß und Gewicht, wie der Mensch das Maß der Dinge ist." Nur ist, nach allen vorangegangenen Betrachtungen, dieser „Anthropomorphismus" selbst nicht in einem beschränkt psychologischen, sondern in einem allgemeinen, kritisch-transzendentalen Sinne zu verstehen. Als das charakteristische Merkmal der Entwicklung des Systems der theoretischen Physik wird von Planck eine fortschreitende Emanzipation von den anthropomorphen Elementen bezeichnet, die die möglichst vollständige Trennung des Systems der Physik von der individuellen Persönlichkeit des Physikers zum Ziele hat (68, S. 7). Aber gerade in dieses „objektive", von aller Zufälligkeit des individuellen Standorts und der individuellen Persönlichkeit losgelöste System, gehen nun selbst jene allgemeine Systembedingungen ein, auf denen die Eigenart der physikalischen Problemstellung als sol-

cher beruht. Die sinnliche Unmittelbarkeit und die sinnliche Besonderung der einzelnen Wahrnehmungsqualitäten wird ausgeschaltet; aber eben diese Ausschaltung ist nur vermöge der Begriffe von Raum und Zeit, von Zahl und Größe möglich. In ihnen bestimmt die Physik den allgemeinsten Inhalt der Wirklichkeit, weil und sofern in ihnen die Richtung der physikalischen Auffassung als solcher, gleichsam die Form der ursprünglichen physikalischen Apperzeption, bezeichnet ist. In der Ausgestaltung der Relativitätstheorie hat sich uns dieses Wechselverhältnis überall bestätigt. Das Relativitätsprinzip hat einen zugleich objektiven und subjektiven, einen gegenständlichen und einen methodischen Sinn. Das „Postulat der absoluten Welt", das es nach einem Ausdruck Minkowskis in sich schließt, ist letzten Endes ein Postulat der absoluten Methode. Die allgemeine Relativität aller Orte, Zeiten und Maßstäbe muß das letzte Wort der Physik bilden, weil die Relativierung, die Auflösung des Gegenstandes der Natur in reine Maßbeziehungen, den Kern des physikalischen Verfahrens, weil sie die grundlegende Erkenntnisfunktion der Physik ausmacht.

Begreift man jedoch in diesem Sinne, wie der Inhalt der Relativitätsbehauptung mit innerer Konsequenz und Notwendigkeit aus der Form der Physik selbst herauswächst, so ist darin zugleich eine bestimmte kritische Einschränkung dieser Behauptung bezeichnet. Das Postulat der Relativität mag der reinste, der allgemeinste und schärfste Ausdruck des physikalischen Gegenstandsbegriffs sein; — aber eben dieser Begriff des physikalischen Gegenstands fällt, vom Standpunkt der allgemeinen Erkenntniskritik, mit der Wirklichkeit schlechthin keineswegs zusammen. Der Fortschritt der erkenntnistheoretischen Analyse bewährt sich eben darin, daß durch ihn die Annahme einer Einfachheit und Einerleiheit der Wirklichkeitsbegriffe mehr und mehr als Täuschung erkannt wird. Jede ursprüngliche Richtung, die die Erkenntnis nimmt, jede Deutung, der sie die Erscheinungen unterwirft, um sie zur Einheit eines theoretischen Zusammenhangs oder zu einer bestimmten Sinneinheit zusammenzufassen, schließt eine besondere Fassung und Formung des Begriffs der Wirklichkeit in sich. Hier ergeben sich nicht nur die charakteristischen Bedeutungsunterschiede der wissenschaftlichen Gegenstände selbst — die Scheidung des „mathematischen" vom „physikalischen", des „physikalischen" vom „chemischen", des „chemischen" vom „biologischen" Gegenstand; sondern hier treten auch dem Ganzen der theoretisch-wissenschaftlichen Er-

kenntnis andere Form- und Sinngebungen von selbständigem Typus und selbständiger Gesetzlichkeit — wie die ethische, die ästhetische „Form“ — gegenüber. Es erscheint als die Aufgabe einer wahrhaft allgemeinen Erkenntniskritik, daß sie diese Mannigfaltigkeit, diesen Reichtum und diese Vielgestaltigkeit der Formen der Welterkenntnis und des Weltverständnisses, nicht nivelliert und in eine rein abstrakte Einheit zusammendrängt, sondern daß sie sie als solche bestehen läßt. Erst wenn wir der Versuchung widerstehen, die Gesamtheit der Formen, die sich uns hier ergibt, in eine letzte metaphysische Einheit, in die Einheit und Einfachheit eines absoluten „Weltgrundes“ zusammenzudrängen und aus ihm ableiten zu wollen, erschließt sich uns ihr wahrhafter konkreter Gehalt und ihre konkrete Fülle. Keine Einzelform kann freilich jetzt noch den Anspruch erheben, die „Wirklichkeit“ als solche, die „absolute“ Realität in sich zu fassen und zum vollständigen und adäquaten Ausdruck zu bringen. Vielmehr ist der Gedanke einer solchen letzten eindeutigen Wirklichkeit wenn überhaupt, so nur als Idee faßbar: als die Aufgabe einer Totalität der Bestimmung, bei der jede besondere Erkenntnis- und Bewußtseinsfunktion gemäß ihrer Eigenart und innerhalb ihrer bestimmten Grenzen mitzuwirken hat. Hält man an dieser Gesamtanschauung fest, so ergibt sich, schon innerhalb des reinen Naturbegriffs selbst, eine mögliche Verschiedenheit von Ansätzen, von denen jeder ein bestimmtes Recht und eine charakteristische Geltung für sich in Anspruch nehmen darf. Die „Natur“ Goethes ist mit derjenigen Newtons nicht einerlei — weil in der ursprünglichen Gestaltung beider durchaus verschiedene Formprinzipien, verschiedene Arten der Synthese, des geistigen und gedanklichen Zusammenschauens der Erscheinungen, obwalten. Wo solche Verschiedenheiten der Grundrichtung der Betrachtung bestehen, da lassen sich auch die Resultate der Betrachtung nicht ohne weiteres vergleichen und aneinander messen. Der naive Realismus der gewöhnlichen Weltansicht, wie der Realismus der dogmatischen Metaphysik verfällt freilich immer aufs neue diesem Fehler. Er löst aus der Gesamtheit der möglichen Wirklichkeitsbegriffe einen einzelnen heraus und stellt ihn als Norm und Urbild für alle übrigen auf. So werden bestimmte notwendige Formgesichtspunkte, unter denen wir die Welt der Erscheinungen zu beurteilen, zu betrachten und zu verstehen suchen, zu Dingen, zum Sein schlechthin, umgeprägt. Ob wir als dieses letzte Sein die „Materie“ oder das „Leben“, die „Natur“ oder die „Geschichte“ be-

stimmen: immer ergibt sich für uns auf diesem Wege zuletzt eine Verkümmerung der Weltansicht, weil bestimmte geistige Funktionen, die an ihrem Aufbau mitwirken, ausgeschaltet und dagegen andere einseitig hervorgehoben und bevorzugt scheinen.

Es ist die Aufgabe der systematischen Philosophie — die über diejenige der Erkenntnistheorie weit hinausgreift — das Weltbild von dieser Einseitigkeit zu befreien. Sie hat das G a n z e der symbolischen Formen, aus deren Anwendung für uns der Begriff einer in sich gegliederten Wirklichkeit entspringt — kraft deren sich für uns Subjekt und Objekt, Ich und Welt scheiden und in bestimmter Gestaltung gegenübertreten, — zu erfassen und jedem Einzelnen in dieser Gesamtheit seine feste Stelle anzuweisen. Denkt man sich diese Aufgabe als gelöst, so wäre damit erst den besonderen Begriffs- und Erkenntnisformen wie den allgemeinen Formen des theoretischen, des ethischen, des ästhetischen und religiösen Weltverständnisses ihr Recht gesichert und ihre Grenze bezeichnet. Jede besondere Form würde sich freilich in dieser Auffassung gegenüber den andern relativieren; — aber da diese Relativierung durchaus wechselseitig ist, da keine Einzelform mehr, sondern nur deren systematische Allheit als Ausdruck der „Wahrheit“ und „Wirklichkeit“ zu gelten hätte, so würde die Schranke, die sich damit ergibt, auf der andern Seite als eine durchaus immanente Schranke erscheinen; als eine solche, die sich aufhebt, sobald wir das Einzelne wieder auf das Ganze beziehen und im Zusammenhang des Ganzen betrachten.

Wir verfolgen jedoch das allgemeine Problem, das sich uns hier eröffnet, an dieser Stelle nicht weiter, sondern benutzen es nur, um von ihm aus die Grenzen zu bezeichnen, die jeder, auch der allgemeinsten p h y s i k a l i s c h e n Fragestellung anhaften, weil sie im Begriff und Wesen dieser Fragestellung notwendig gegründet sind. Alle Physik betrachtet die Erscheinungen unter dem Gesichtspunkt und der Voraussetzung ihrer Meßbarkeit. Sie sucht das Gefüge des Seins und des Geschehens zuletzt in ein reines Gefüge, in eine Ordnung von Zahlen aufzulösen. Gerade die Relativitätstheorie hat diese Grundtendenz des physikalischen Denkens auf ihren schärfsten Ausdruck gebracht. Nach ihr besteht das Verfahren jeder physikalischen „Erklärung“ des Naturgeschehens darin und erschöpft sich darin, jedem Punkte des raum-zeitlichen Kontinuums vier Zahlen x_1, x_2, x_3, x_4 zuzuordnen, die gar keine unmittelbare physikalische Bedeutung besitzen, sondern nur dazu dienen, die Punkte des

Kontinuums „in bestimmter, aber willkürlicher Weise zu numerieren". (Vgl. 18, S. 64). Das Ideal, mit welchem die wissenschaftliche Physik bei Pythagoras und den Pythagoreeren begann, findet hier seinen Abschluß: alle Qualitäten, auch die des reinen Raumes und der reinen Zeit, sind in reine Zahlwerte umgesetzt. Die logische Grundforderung die im Begriff der Zahl enthalten ist und die diesem Begriff sein eigentliches Gepräge gibt, scheint damit in einem nicht mehr zu überbietenden Maße erfüllt: alle sinnliche und anschauliche Ungleichartigkeit ist in reine Gleichartigkeit aufgegangen. Die klassische Mechanik und Physik suchte dieses immanente Ziel der Begriffsbildung dadurch zu erreichen, daß sie die Mannigfaltigkeit des sinnlich-Gegebenen auf den homogenen Raum der Euklidischen Geometrie und auf die homogene absolut-gleichförmige Zeit bezog. Aller Unterschied der Empfindung wurde damit auf einen Unterschied von Bewegungen zurückgeführt: alle mögliche Vielfältigkeit des Inhalts löste sich in die bloße Vielfältigkeit der Raum- und Zeit s t e l l e n auf. Aber das Ideal der strengen Gleichartigkeit ist hier in sofern nicht erreicht, als es noch immer zwei Grundformen des Homogenen selbst sind, die sich als reine Raumform und als reine Zeitform einander gegenüberstehen. Die Relativitätstheorie drängt in ihrer Entwicklung auch über diesen Gegensatz hinweg; sie sucht nicht nur die Differenzen der Empfindung, sondern auch die der räumlichen und zeitlichen Bestimmung in die Einheit der Zahlbestimmung aufzuheben. Die Besonderheit jedes „Ereignisses" wird durch die vier Zahlen x_1, x_2, x_3, x_4 zum Ausdruck gebracht, wobei diese Zahlen selbst gegeneinander keine inneren Unterschiede mehr aufweisen, also auch die einen von ihnen x_1, x_2, x_3 nicht zu einer besonderen Gruppe der „räumlichen" Koordinaten vereinigt und der „Zeitkoordinate" x_4 gegenübergestellt werden können. Damit erscheinen folgerecht alle Unterschiede, die der räumlichen und zeitlichen Auffassung im subjektiven Bewußtsein anhaften, ebenso beseitigt und ausgeschaltet, wie etwa in die physikalische Begriffsbestimmung des Lichts und der Farbe nichts von der subjektiven Gesichtsempfindung eingeht.[1]) Jetzt werden nicht nur die räumlichen und zeitlichen Bestimmungen gegeneinander vertauschbar, sondern es scheinen sich auch alle inneren, für das subjektive Bewußtsein unaufheblichen Unterschiede des Zeitlichen selbst, alle Differenzen der R i c h t u n g, die wir durch die Worte „Vergangenheit" und „Zukunft" bezeichnen, zu

[1]) Zu diesem letzteren Punkt vgl. jetzt P l a n c k, Das Wesen des Lichts (*71*).

nivellieren. Die Richtung in die Vergangenheit und die in die Zukunft unterscheiden sich in der Form, die der Weltbegriff hier annimmt, voneinander nicht anders als die + und —Richtung im Raume, die wir durch willkürliche Festlegung bestimmen können. Es bleibt nur die „absolute Welt“ Minkowskis zurück: die Physik wird aus einem G e s c h e h e n im dreidimensionalen Raum gewissermaßen ein S e i n in dieser vierdimensionalen Welt, in welcher die Zeit als veränderliche Größe durch den imaginären „Lichtweg“ ($x_4 = \sqrt{-1}\, c\, t$) ersetzt ist.[1])

Mit dieser Verwandlung des Zeitwertes in einen imaginären Zahlwert scheint freilich auch alle „Wirklichkeit“ und alle jene qualitative Bestimmtheit, die die Zeit als „Form des inneren Sinnes“, als Form des unmittelbaren Erlebens besitzt, zunichte geworden. Der „Strom des Geschehens“, der psychologisch erst das Bewußtsein ausmacht und der es als solches kennzeichnet, steht still: er ist in die absolute Starrheit einer mathematischen Weltformel aufgegangen. Von der Zeitgestalt, die all unserem Erleben als solchem eignet, und die in all seine inhaltlichen Bestimmungen als unlöslicher und notwendiger Faktor eingeht[2]), ist in dieser Formel nichts übrig geblieben. Aber so paradox dieses Ergebnis auch vom Standpunkt eben dieses Erlebens erscheint, so drückt sich doch in ihm andererseits nur der Gang der mathematisch-physikalischen Objektivierung selbst aus — den man jedoch, um ihn erkenntnistheoretisch richtig zu würdigen, nicht nach seinem bloßen Resultat, sondern eben als Gang, als Methode zu verstehen hat. In der Auflösung der subjektiv-erlebten Qualitäten in rein objektive numerische Bestimmungen ist die mathematische Physik an keine bestimmte Grenze gebunden. Sie muß ihren Weg zu Ende gehen; sie darf vor keiner noch so ursprünglichen und fundamentalen Bewußtseinsgestalt Halt machen: denn es ist eben ihre spezifische Erkenntnisaufgabe, alles Zählbare in die reine Zahl, alle Qualität in die Quantität, alle besondere Gestaltung in ein allgemeines Ordnungsschema umzusetzen und es kraft dieser Umsetzung erst wissenschaftlich zu „begreifen“. Die Philosophie würde vergeblich versuchen, diesem Streben an irgendeinem Punkte Einhalt zu gebieten und ihm ein „Ne plus ultra“ zuzurufen. Ihre Aufgabe muß sich vielmehr darauf beschränken, daß sie, indem sie die logische B e d e u t u n g des mathematisch-physikalischen Objektbegriffs vollauf anerkennt, diese

[1]) Vgl. M i n k o w s k i (*54*, S. 62 ff.), E i n s t e i n (*18*, S. 82 f.).
[2]) Vgl. hrz. z. B. J. C o h n (*14*, S. 228 ff.).

Bedeutung zugleich als seine logische Bedingtheit begreift. Alle besonderen physikalischen Theorien, und somit auch die Relativitätstheorie, empfangen ihren bestimmten Sinn und Gehalt erst durch den einheitlichen Erkenntniswillen der Physik überhaupt, der hinter ihnen steht. In dem Augenblick, in dem wir das Gebiet der Physik überschreiten, in welchem wir nicht die Mittel, sondern das Ziel der Erkenntnis selbst verändern, nehmen damit auch alle Sonderbegriffe eine neue Fassung und Formung an. Jeder dieser Begriffe bedeutet etwas anderes, je nach der allgemeinen „Modalität" des Bewußtseins und der Erkenntnis, innerhalb deren er steht und von der aus er betrachtet wird. Der Mythos und die wissenschaftliche Erkenntnis, das logische und das ästhetische Bewußtsein sind Beispiele derartig verschiedener Modalitäten. Es sind bisweilen gleichnamige, aber nichtsdestoweniger keineswegs gleichbedeutende Begriffe, die uns in diesen verschiedenen Sphären entgegentreten. Das Begriffsverhältnis, das wir allgemein als „Ursache" und „Wirkung" bezeichnen, ist auch dem mythischen Denken nicht fremd — aber es unterscheidet sich hier spezifisch von dem Sinn, den es im wissenschaftlichen, insbesondere im mathematisch-physikalischen Denken erhält. Auf ähnliche Weise unterliegen alle Grundbegriffe einem charakteristischen geistigen Bedeutungswandel, wenn man sie durch die verschiedenen Gebiete geistiger Betrachtung hindurchführt. Wo die Abbildtheorie der Erkenntnis eine einfache Identität sucht und fordert — da erblickt die Funktionstheorie der Erkenntnis durchgängige Verschiedenheit, aber zugleich freilich durchgängige Korrelation der Einzelformen[1].

Wendet man diese Betrachtungsweise auf die Begriffe von Raum und Zeit an, so wird erst völlig verständlich, was die Umformung, die diese Begriffe in der modernen physikalischen Erkenntnis erfahren haben, für ihren philosophischen Gehalt bedeutet — und was sie hierfür nicht bedeuten kann. Der Inhalt der physikalischen Schlußfolgerungen läßt sich ohne in den logischen Fehler einer μετάβασις εἰς ἄλλο γένος zu verfallen, nicht einfach in die Sprache solcher Gebiete übertragen, deren Fügung auf einem ganz anderen Strukturprinzip beruht. So bleibt zunächst dasjenige, was Raum und Zeit als unmittelbare Inhalte des Erlebens sind, und als was sie sich unserer psychologischen und phänomenologischen

[1]) Des fragmentarischen Charakters der hier gegebenen Andeutungen bin ich mir bewußt: ich muß zu ihrer Ergänzung und näheren Begründung auf spätere eingehendere Darlegungen verweisen. Vgl. auch den Aufsatz „Goethe und die mathematische Physik". (11).

Analyse darbieten, von dem Gebrauch, den wir von ihnen im Verlauf der Objektbestimmung, im Fortgang der objektivierenden begrifflichen Erkenntnis machen, unberührt. Die Distanz, die zwischen diesen beiden Weisen der Betrachtung und Auffassung besteht, wird durch die Relativitätstheorie nur vergrößert, und daher als solche deutlicher kenntlich gemacht; aber sie wird keineswegs durch sie erst geschaffen. Vielmehr ist klar, daß wir, um auch nur zu den ersten Elementen der mathematisch-physikalischen Erkenntnis und des mathematisch-physikalischen Gegenstandes zu gelangen, an dem „subjektiven" phänomenalen Raum und der „subjektiven" phänomenalen Zeit jene charakteristische Umbildung vorgenommen haben müssen, die in ihren letzten Konsequenzen bis zu den Ergebnissen der allgemeinen Relativitätstheorie hinführt. Auch vom Standpunkt des strengen Sensualismus pflegt man diese Umbildung, diesen Gegensatz zwischen dem „physiologischen" Raum unserer Sinnesempfindung und unserer Vorstellung und dem reinen „metrischen" Raum, den wir der Geometrie zu Grunde legen, zuzugestehen. Der letztere beruht auf der Annahme der Gleichwertigkeit aller Orte und Richtungen, während für den ersteren eben die Unterscheidung der Orte und Richtungen und die Auszeichnung der einen vor den anderen wesentlich ist. Der Tastraum wie der Sehraum ist anisotrop und inhomogen, während der metrische Euklidische Raum durch das Postulat der Isotropie und Homogeneität gekennzeichnet ist. Die physiologische Zeit zeigt, verglichen mit der „metrischen", die gleichen charakteristischen Abweichungen und Bedeutungsdifferenzen: man muß — so betont selbst Mach — zwischen der unmittelbaren Empfindung einer Dauer und einer Maßzahl so scharf unterscheiden, wie zwischen Wärmeempfindung und Temperatur[1].

[1] Mach (*50*, S. 331 ff., 415 ff.). Will man mit Schlick (*79*, S. 51 ff.) den psychologischen Raum der Empfindung und Vorstellung als den Raum der Anschauung bezeichnen und ihm den physikalischen Raum als begriffliche Konstruktion gegenüberstellen, so läßt sich hiergegen, als gegen eine rein terminologische Bestimmung nichts einwenden: nur muß man sich alsdann hüten, diesen Gebrauch des Wortes „Anschauung" mit dem Kantischen, der auf völlig anderen Voraussetzungen beruht, zu vermischen. Wenn Schlick in der Einsicht, daß die objektive physikalische Zeit mit dem anschaulichen Erlebnis der Dauer ebensowenig zu tun hat, wie die dreidimensionale Ordnung des objektiven Raumes mit den anschaulichen Erlebnissen der optischen oder haptischen Ausdehnung, „den richtigen Kern der Kant'schen Lehre von der Subjektivität der Zeit und des Raumes" erblickt, und wenn er andererseits von dieser Unterscheidung aus den Kantischen Begriff der „reinen Anschauung" bekämpft (vgl. *80*, S. 297 ff.), so beruht dies auf einer psychologischen Verkennung des Sinns und Gehalts der Kantischen Begriffe. Der Raum und die Zeit der reinen Anschauung sind für Kant niemals der empfundene oder wahrgenommene Raum oder die empfundene und wahrgenommene Zeit, sondern der „mathematische Raum" und die „mathematische Zeit" Newtons; sie sind ebensowohl selbst konstruktiv erzeugt, wie sie

Mit besonderer Schärfe tritt dieser Gegensatz zwischen dem subjektiven, „phänomenalen“ Raum und der subjektiven, phänomenalen Zeit einerseits und dem objektiv-mathematischen Raum und der objektiv-mathematischen Zeit andererseits zu Tage, wenn man eine Bestimmung an beiden ins Auge faßt, die ihnen auf den ersten Blick gemeinsam zu sein scheint. Von beiden pflegen wir das Merkmal der *Stetigkeit* auszusagen: aber wir verstehen, näher betrachtet, darunter in beiden Fällen etwas völlig Verschiedenes. Die Stetigkeit, die wir aus der Form unseres Erlebens heraus der Zeit und dem Geschehen in ihr zusprechen, und die, die wir in mathematischen Begriffen, kraft bestimmter konstruktiver Methoden der Analysis, definieren, fallen miteinander nicht nur nicht zusammen, sondern sie unterscheiden sich gerade ihren wesentlichen Grundmomenten und Grundbedingungen nach. Die Erlebnis-Stetigkeit besagt, daß jeder zeitliche Inhalt uns immer nur in der Art bestimmter charakteristischer *„Ganzheiten“* gegeben ist, die sich auf keine Weise in letzte einfache *„Elemente“* auflösen lassen — die analytische Stetigkeit fordert gerade die Rückführung auf solche Elemente. Die erstere nimmt Zeit und Dauer als „organische“ Einheiten, in denen nach der Aristotelischen Definition, „das Ganze dem Teil vorangehen“ soll: die zweite sieht in ihnen nur einen, wenngleich unendlichen, *Inbegriff* von Teilen, von besonderen, scharf gegeneinander abgegrenzten *Zeitpunkten*. In dem einen Falle bedeutet die Kontinuität des Werdens jenes lebendige Fließen, das immer nur als Fließen, als Übergang, nicht aber gesondert und zerstückelt in diskrete Teile, unserem Bewußtsein gegeben ist; — in dem anderen wird gefordert, daß wir eben diese Zerlegung über alle Grenzen der empirischen Auffassung hinaus fortsetzen; daß wir die Sonderung der Elemente nicht da aufhören lassen, wo die sinnliche Wahrnehmung, die an ganz bestimmte z u f ä l l i g e Schranken der Unterscheidungsfähigkeit gebunden ist, sie enden läßt, sondern daß wir sie rein gedanklich bis ins Unendliche weiter verfolgen. Was der Mathematiker das „Kontinuum“ nennt, das ist daher niemals

---

die Voraussetzung und Grundlage aller weiteren mathematisch-physikalischen Konstruktionen bilden. Die „reine Anschauung“ spielt bei Kant die Rolle einer ganz bestimmten grundlegenden M e t h o d e d e r O b j e k t i v i e r u n g: sie fällt mit der „subjektiven“, d. h. der psychologisch-erlebbaren Zeit und mit dem psychologisch-erlebbaren Raume in keiner Weise zusammen. Wenn Kant von der Subjektivität des Raumes und der Zeit spricht, so ist darunter niemals die Erlebnis-Subjektivität, sondern ihre „transzendentale“ Subjektivität als Bedingungen der Möglichkeit der „objektiven“ d. h. der objektivierenden Erfahrungserkenntnis selbst verstanden. (Vgl. auch die treffenden Bemerkungen S e l l i e n s gegen Schlick; *81*, S. 19, 39).

die reine Erlebnis-Qualität der „Stetigkeit" — denn von ihr ist eben keine weitere „objektive" Begriffsbestimmung und objektive Definition mehr möglich — sondern es ist eine rein begriffliche Konstruktion, die er an ihre Stelle setzt. Er muß auch hier gemäß seiner überall befolgten Methode verfahren: er muß die Qualität des Stetigen in die bloße Zahl, d. h. aber gerade in die Grund- und Urform aller gedanklichen *Diskretion*, aufheben (vgl. 6, S. 21). Das Kontinuum, das er allein kennt, und auf das er alle anderen zurückführt, ist immer nur das Kontinuum der *reellen Zahlen* — wie es die moderne Analysis und die moderne Mengenlehre in bekannter Weise streng begrifflich und unter prinzipiellem Verzicht auf jede Berufung auf die „Anschauung" von Raum und Zeit aufzubauen sucht. Das so betrachtete Kontinuum — dies hat besonders Henri Poincaré mit allem Nachdruck betont — ist nichts anderes, als eine Gesamtheit von Individuen, die in einer bestimmten Ordnung gedacht werden, und die zwar in unendlicher Anzahl gegeben sind, von denen aber jedes dem anderen, als ein Getrenntes und Äußerliches, gegenübersteht. Hier handelt es sich nicht mehr um die gewöhnliche Auffassung, nach welcher zwischen den Elementen der Kontinuums eine Art von „innerem Band" besteht, durch die sie sich zum Ganzen verknüpfen — so daß z. B. der Punkt nicht der Linie, sondern die Linie dem Punkte vorausgehen soll. „Von der berühmten Formel, daß das Kontinuum die Einheit des Mannigfaltigen sei — so folgert daher Poincaré — bleibt nur noch die Mannigfaltigkeit zurück; — die Einheit ist verschwunden. Die Analytiker haben nichtsdestoweniger Recht, wenn sie die Stetigkeit so definieren, wie sie es tun, denn in all ihren Schlüssen haben sie es, sofern sie auf Strenge Anspruch machen, immer nur mit diesem Begriff des Stetigen zu tun. Aber dieser Umstand genügt, um uns darauf aufmerksam zu machen, daß das echte mathematische Kontinuum ganz etwas anderes, als das der Physiker und der Metaphysiker ist" (72, S. 30). Das physische Kontinuum wird nun freilich, sofern die Physik selbst objektivierende, mit den Begriffsmitteln der Mathematik arbeitende Wissenschaft ist, nur dadurch begriffen, daß es auf das mathematische, auf das Kontinuum der reinen Zahlen, bezogen und ihm eindeutig zugeordnet wird. Aber das „metaphysische" Kontinuum der reinen und ursprünglichen, der „subjektiven" Erlebnisform kann auf diesem Wege niemals erfaßt werden: weil eben die Richtung der mathematischen Betrachtung so beschaffen ist, daß sie statt zu dieser Form hinzuführen, sich vielmehr fortschreitend von ihr entfernt.

Die kritische Erkenntnistheorie, die zwischen den verschiedenen Arten der Erkenntnis nicht zu wählen, sondern die lediglich festzustellen hat, was jede von ihnen „ist“ und bedeutet, kann zwischen den gegensätzlichen Aspekten, unter denen hier das Kontinuum erscheint, keine normative Entscheidung treffen, sondern ihre Aufgabe geht darin auf, beide gegeneinander in möglichster Bestimmtheit und Klarheit abzugrenzen. Erst durch eine solche Begrenzung kann auf der einen Seite das Ziel der phänomenologischen Analyse des Zeit- und Raumbewußtseins, auf der andern Seite das Ziel einer exakten Grundlegung der mathematischen Analysis und ihrer Begriffe von Raum und Zeit erreicht werden. „Dem Vorwurf gegenüber“ — so beschließt ein moderner mathematischer Autor seine Untersuchungen über das Kontinuum — „daß von den logischen Prinzipien, die wir zur exakten Definition des Begriffs der reellen Zahl heranziehen müssen, in der Anschauung des Kontinuums nichts enthalten sei, haben wir uns Rechenschaft darüber gegeben, daß das im anschaulichen Kontinuum Aufzuweisende und die mathematische Begriffswelt einander so fremd sind, daß die Forderung des Sich-Deckens als absurd zurückgewiesen werden muß. Trotzdem sind jene abstrakten Schemata, welche uns die Mathematik liefert, erforderlich, um exakte Wissenschaft solcher Gegenstandsgebiete zu ermöglichen, in denen Kontinua eine Rolle spielen. Der exakte Zeit- oder Raumpunkt liegt nicht in der gegebenen (phänomenalen) Dauer oder Ausbreitung als deren letztes unteilbares Element, sondern erst die durch dies Gegebene hindurchgreifende Vernunft vermag jene Ideen zu erfassen und erst an dem der rein formalen Sphäre zugehörigen arithmetisch-analytischen Begriff der reellen Zahl krystallisieren sie zu ihrer vollen Bestimmtheit aus“[1].

Vergegenwärtigt man sich diesen Sachverhalt, so verlieren auch die Folgerungen, zu denen die Relativitätstheorie in ihrer Bestimmung des vierdimensionalen Raum- und Zeit-Kontinuums fortschreitet, den Schein der Paradoxie — denn es zeigt sich jetzt, daß sie nur die letzte Konsequenz und Auswirkung der methodischen Grundgedanken sind, auf denen die mathematische Analysis überhaupt beruht. Die Frage aber, welche von beiden Raum- und Zeitformen, die psychologische oder die physikalische, die Raum- und Zeitform des unmittelbaren Erlebens oder die des mittelbaren Begreifens und Erkennens, denn nun die w a h r e Wirklichkeit ausdrückt und in sich faßt, hat für uns im Grunde jeden bestimmten

[1] W e y l, 84, S. 83, 71.

Sinn verloren. In den Komplex, den wir unsere „Welt", den wir das Sein unseres Ich und das Sein der Dinge nennen, gehen beide als gleich unentbehrliche und notwendige Momente ein. Wir können keines von ihnen zu Gunsten des andern aufgeben und aus diesem Komplex ausschalten, sondern wir können jedem nur die bestimmte Stelle zuweisen, die ihm im Ganzen zukommt. Wenn der Physiker, dessen Aufgabe in der Objektivierung aufgeht, hierbei den Vorrang des „objektiven" Raumes und der „objektiven" Zeit vor dem „subjektiven" Raum und der „subjektiven" Zeit behauptet — wenn der Psychologe und Metaphysiker, der auf die Totalität und auf die Unmittelbarkeit des Erlebens gerichtet ist, die entgegengesetzte Folgerung zieht: so drückt sich in beiden Urteilen nur eine falsche Absolutierung der Erkenntnisnorm aus, kraft deren jeder von ihnen die „Wirklichkeit" bestimmt und ausmißt. In welcher Richtung diese Absolutierung fortschreitet und ob sie nach „außen" oder nach „innen" geht, gilt für das rein erkenntnistheoretische Urteil gleichviel. Für Newton steht es fest, daß die absolute und mathematische Zeit, die an sich vermöge ihrer Natur gleichförmig verfließt, zugleich die „wahre" Zeit ist, von der alle empirisch gegebene Zeitbestimmung uns immer nur ein mehr oder weniger unvollkommenes Abbild liefern kann; — für Bergson wird diese „wahre" Zeit Newtons zur begrifflichen Fiktion und Abstraktion, zur Schranke, die sich zwischen unsere Auffassung und den ursprünglichen Sinn und Gehalt der Realität stellt. Aber es ist dabei vergessen, daß auch das, was hier die Realität schlechthin, was die „duree réelle" genannt wird, selbst kein Absolutes ist, sondern daß es nur einen anderen, dem mathematisch-physikalischen entgegengerichteten Standpunkt des Bewußtseins bedeutet. In dem einen Falle suchen wir ein einheitliches und eindeutiges Maß für alles objektive Geschehen zu gewinnen, in dem anderen handelt es sich darum, dieses Geschehen selbst in seiner rein qualitativen Bestimmtheit, in seiner konkreten Fülle und in seiner subjektiven Innerlichkeit und Inhaltlichkeit festzuhalten. Beide Gesichtspunkte lassen sich in ihrem Sinn und ihrer Notwendigkeit verstehen: — keiner reicht für sich aus, das tatsächliche Ganze des Seins im idealistischen Sinne, als „Sein für uns" zu umfassen. Die Symbole, die der Mathematiker und Physiker in seiner Schau des Äußeren und die der Psychologe in seiner Schau des Inneren zu Grunde legt, müssen sich beide als Symbole verstehen lernen. Solange dies nicht geschehen ist, ist die wahrhaft philosophische Anschauung, die Anschauung des

Ganzen, nicht erreicht, sondern es ist nur eine bestimmte Teilerfahrung zum Ganzen hypostasiert. Vom Standpunkt der mathematischen Physik droht jetzt der gesamte Inhalt der unmittelbaren Qualitäten, drohen nicht nur die Differenzen der Empfindung, sondern auch die des räumlichen und zeitlichen Bewußtseins völlig zunichte zu werden: — für den metaphysischen Psychologen geht umgekehrt alles Wirkliche in diese Unmittelbarkeit auf, während jedes mittelbare begriffliche Wissen nur den Wert einer willkürlichen, zum Zwecke unseres Handelns geschaffenen Konvention behält. Aber beide Ansichten stellen sich gerade in ihrer Absolutheit vielmehr als Verkümmerungen des vollen Seinsgehalts, d. h. des vollen Gehalts der Formen der Ich- und Welterkenntnis dar. Wenn der Mathematiker und mathematische Physiker in Gefahr steht, die wirkliche Welt mit der Welt seiner Maße unmittelbar in eins fallen zu lassen — so geht der metaphysischen Betrachtung, indem sie die Mathematik auf praktische Ziele einzuengen sucht, der Sinn für ihren reinsten und tiefsten ideellen Gehalt verloren. Sie verschließt sich gewaltsam gegen das, was nach Platon die eigentliche Bedeutung und den eigentlichen Wert des Mathematischen ausmacht: daß nämlich „durch jede dieser Erkenntnisse ein Organ der Seele gereinigt und aufgeregt wird, das unter anderen Beschäftigungen verloren geht und erblindet, da doch an dessen Erhaltung mehr gelegen ist, als an tausend Augen: denn durch dieses allein wird die Wahrheit gesehen". Und zwischen den beiden Polen der Betrachtung, die sich hier ergeben, stehen nun die mannigfachen Wahrheitsbegriffe der verschiedenen konkreten Wissenschaften — und damit auch ihre Raum- und Zeitbegriffe. Die Geschichte kann, um ihre Zeitmaße aufzustellen, der Methoden der objektivierenden Wissenschaften nicht entbehren: die Chronologie ist auf die Astronomie und durch diese auf die Mathematik gegründet. Aber die Zeit des Historikers ist dennoch mit der des Mathematikers und Physikers in keiner Weise identisch, sondern besitzt und bewahrt ihr gegenüber eine eigene konkrete Gestalt. Es ist eine neue eigentümliche Wechselbeziehung, in welche der „objektive" Erkenntnisgehalt und der „subjektive" Erlebnisgehalt im Zeitbegriff der Geschichte eintreten. Ein analoges Verhältnis stellt sich uns dar, wenn wir auf die ästhetische Bedeutung und die ästhetische Gestaltung der Raum- und Zeitform hinüberblicken. Die Malerei setzt die objektiven Gesetze der Perspektive, die Architektur setzt die Gesetze der Statik voraus: aber beide dienen hier nur als Material, aus dem sich nun

auf Grund ursprünglicher künstlerischer Formgesetze die Bildeinheit und die Einheit der architektonischen Raumgestalt entwickelt. Auch für die Musik haben schon die Pythagoreer den Zusammenhang mit der reinen Mathematik, mit der reinen Zahl, gesucht und gefordert: aber die Einheit und die rhythmische Gliederung einer Melodie beruht nichtsdestoweniger auf völlig anderen Prinzipien der Gestaltung, als denjenigen, nach denen wir die Zeit, im Sinne der Einheit des objektiven physischen Naturgeschehens aufbauen. Was Raum und Zeit wahrhaft s i n d — das wäre für uns im philosophischen Sinne erst dann bestimmt, wenn es uns gelänge, diese Fülle ihrer geistigen B e d e u t u n g s n u a n c e n vollständig zu überblicken und uns in ihr des durchgreifenden und übergreifenden Formgesetzes zu versichern, dem sie unterstehen und gehorchen. Die Relativitätstheorie kann nicht den Anspruch erheben, diese philosophische Aufgabe ihrer Lösung entgegenzuführen; denn sie ist, nach ihrer Entstehung und ihrer wissenschaftlichen Tendenz, von Anfang an auf ein einzelnes bestimmtes Motiv des Raum- und Zeitbegriffs hingewiesen und eingeschränkt. Als physikalische Theorie entwickelt sie lediglich die Bedeutung, die Raum und Zeit im System unserer empirisch-physikalischen Messungen besitzen. In diesem Sinne steht auch das endgültige Urteil über sie ausschließlich der Physik zu. Sie wird im Fortschritt ihrer Geschichte darüber zu entscheiden haben, ob das Weltbild der Relativitätstheorie in seinen theoretischen Grundlagen sicher steht und ob es seine volle experimentelle Bewährung findet. Der Entscheidung, die sie hierüber fällen wird, kann die Erkenntnistheorie nicht vorgreifen: aber sie darf schon jetzt dankbar die neuen Anregungen aufnehmen, die die allgemeine Prinzipienlehre der Physik durch diese Theorie erfahren hat.

LITERATURVERZEICHNIS.

1. Bauch, Bruno, Studien zur Philosophie der exakten Wissenschaften. Heidelb. 1911.
2. Becher, Erich, Philosophische Voraussetzungen der exakten Naturwissenschaften. Leipz. 1906.
3. Berg, Otto, Das Relativitätsprinzip der Elektrodynamik (Abt. der Friesschen Schule, N. F., Göttingen 1912).

3a. Bloch, W., Einführung in die Relativitätstheorie, Lpz. u. Berl. 1918. (Aus Natur u. Geisteswelt, Bd. 618).

4. Buek, Otto, Mich. Faradays System der Natur und seine begrifflichen Grundlagen. Philos. Abhandlungen zu H. Cohens 70. Geburtstag. Berlin 1912.
5. Cassirer, Ernst, Leibniz' System in seinen wissenschaftlichen Grundlagen. Marburg 1902.
6. „ „ Kant und die moderne Mathematik (Kant-Studien XII (1901).
7. „ „ Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit. Bd. I und II, 2. Aufl., Berlin 1911; Bd. III, Berlin 1920.
8. „ „ Substanzbegriff und Funktionsbegriff. Untersuchungen über die Grundfragen der Erkenntniskritik. Berlin 1910.
9. „ „ Erkenntnistheorie nebst den Grenzfragen der Logik. In: Jahrb. für Philosophie, hg. von Max Frischeisen-Köhler, Berlin 1913.
10. „ „ Kants Leben und Lehre, Berlin 1918.
11. „ „ Goethe und die mathematische Physik (In: Idee und Gestalt, Fünf Aufsätze, Berlin 1920).
12. Cohen, Hermann, Kants Theorie der Erfahrung, 3. Aufl., Berlin 1918.
13. „ „ Logik der reinen Erkenntnis, Berlin 1902.

13a. Cohn, Emil, Physikalisches über Raum und Zeit, 4. Aufl., Berlin 1920.

14. Cohn, Jonas, Relativität und Idealismus, Kant-Studien (XXI), 1916. S. 222 ff.
15. Duhem, Pierre, La Théorie Physique, son objet et sa structure. Paris 1906.

15a. Ehrenfest, P., Zur Krise der Lichtaether-Hypothese, Berlin 1913.

16. Einstein, Albert, Zur Elektrodynamik bewegter Systeme. Annalen der Physik, 4. F., XVII, S. 891 (1905) (zitiert nach Nr. 47).

16a. „ „ Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energiegehalt abhängig? Annal. der Physik (17) 1905.

17. „ „ Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, Lpz. 1916.
18. „ „ Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (Sammlung Vieweg, Heft 38) 2. Aufl., Braunschweig 1917.
19. „ „ Die formalen Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsber. der Berliner Akad. d. Wiss., XLI, 1916.

20. Einstein, Albert, Ernst Mach, Physikalische Zeitschrift XVII (1916), S. 101 ff.

21. Erdmann, Benno, Die Axiome der Geometrie. Eine philosophische Untersuchung der Riemann-Helmholtzschen Raumtheorie (1877).

22. Euler, Leonhard, Réflexions sur l'espace et le temps. Hist. de l'Acad. des Sciences et Belles Lettres, Berlin 1748.

23. ,, ,, Briefe an eine deutsche Prinzessin (1768).

24. Freundlich, Erwin, Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie. Berlin 1916.

24a. ,, ,, Die Entwicklung des physikalischen Weltbildes bis zur allgemeinen Relativitätstheorie, Weiße Blätter 1920, S. 174 ff.

25. Frischeisen-Köhler, Max, Wissenschaft u. Wirklichkeit, Leipzig u. Berlin 1912.

26. ,, ,, ,, Das Zeitproblem. In: Jahrb. f. Philosophie [s. Nr. 9]. Berlin 1913.

27. Galilei, Opere, ed. Albèri, Firenze 1843 ff.

28. Görland, Albert, Aristoteles und Kant bezüglich der Idee der theoretischen Erkenntnis untersucht. [Philos. Arbeiten, hg. von H. Cohen u. P. Natorp, Band II]. Gießen 1909.

29. Helmholtz, Hermann, Über die Erhaltung der Kraft (1847). Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaft, H. 1, 1889).

30. ,, ,, Handbuch der physiologischen Optik, 2. Aufl., Hamburg und Leipzig 1896.

30a. ,, ,, Über den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome (1870) in: Vorträge und Reden, 4. Aufl., Braunschweig 1896, Bd. II.

31. Hertz, Heinrich, Die Prinzipien der Mechanik, Lpz. 1904.

32. Hönigswald, Richard, Über den Unterschied und die Beziehungen der logischen und der erkenntnistheoretischen Elemente in der kritischen Philosophie der Geometrie (Verh. des III. internat. Kongr. für Philos. Heidelb. 1908).

33. ,, ,, Zum Streit über die Grundlagen der Mathematik. Heidelb. 1912.

34. Kant, Kritik der reinen Vernunft (zitiert nach den Seitenzahlen der 2. Aufl. 1787).

35. ,, Werke, herausgegeb. von Ernst Cassirer, Bd. I—X, Berlin 1911 ff.).

36. Keill, Introductio ad veram Physicam, Oxford 1702.

37. Kepler, Opera omnia, ed. Frisch, Vol. I—VIII, Frankf. u. Erlangen 1858 ff.

38. Kneser, Adolf, Mathematik und Natur. Rede. Breslau 1911.

39. König, Edmund, Kant und die Naturwissenschaft, Braunschweig 1907.

40. Laue, Max, Das Relativitätsprinzip (Die Wissenschaft, H. 38), Braunschweig 1911.

41. ,, ,, Das Relativitätsprinzip. In: Jahrb. f. Philosophie (s. Nr. 9), Berlin 1913.

42. Leibniz, Mathematische Schriften, Bd. I—VII, hg. von C. J. Gerhardt, Berlin 1849 ff.
43. „ Philosophische Schriften, Bd. I—VII, hg. von C. J. Gerhardt, Berlin 1875 ff.
44. Leibniz, Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie, übersetzt von A. Buchenau, hg. von E. Cassirer, Bd. I, II, Lpz. 1904/06. (Philos. Bibliothek).
45. „ Neue Versuche über den menschlichen Verstand, übers. u. herausgeg. von E. Cassirer, Lpz. 1915 (Philos. Bibliothek).
45a. Lenard, Philipp, Über Äther und Materie, 2. Aufl., Heidelberg 1911.
45b. „ „ Über Relativitätsprinzip, Äther, Gravitation, Lpz. 1918.
46. Lorentz, H. A., Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light. Proceed. Acad. Sc. Amsterd. 6 (1904), (zitiert nach Nr. 47).
46a. „ „ „ Das Relativitätsprinzip, drei Vorlesungen, gehalten in Teylers Stiftung zu Haarlem. Lpz. u. Berl. 1914.
47. Lorentz-Einstein-Minkowski, Das Relativitätsprinzip. Eine Sammlung von Abhandlungen. Mit Anmerk. von A. Sommerfeld und Vorwort von O. Blumenthal. (Fortschritte der mathemat. Wissensch., Heft 2, Leipzig und Berlin 1913).
48. Lobatschefsky, Zwei geometrische Abhandlungen, übers. v. Fr. Engel, Lpz. 1898.
49. Mach, Ernst, Die Prinzipien der Wärmelehre, Lpz. 1896.
50. „ „ Erkenntnis und Irrtum, Skizzen zur Psychologie der Forschung, Lpz. 1905.
51. Maxwell, J. C., Substanz und Bewegung (Matter and motion), dtsch. von E. v. Fleischel, Braunschw. 1881.
52. Mayer, Robert, Die Mechanik der Wärme in gesammelten Schriften, hg. von Weyrauch, 3. Aufl., Stuttgart 1893.
53. Meyerson, Emile, Identité et réalité, Paris 1908.
54. Minkowski, Hermann, Raum und Zeit, Vortrag, Cöln 1908 (zitiert nach Nr. 47).
55. Müller, Aloys, Das Problem des absoluten Raumes und seine Beziehung zum allgemeinen Raumproblem. Braunschweig 1911.
56. Natorp, Paul, Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften. Lpz. u. Berl. 1910.
57. Neumann, Carl, Über die Prinzipien der Galilei-Newtonschen Theorie, Lpz. 1870.
58. Newton, Isaac, Optice, lat. reddid. S. Clarke, Lausanne u. Genf 1740.
59. „ „ Philosophiae naturalis principia mathematica. (1686). Ausg. von Le Seur und Jacquier, 4. Bd., Genf 1739 ff.
60. Ostwald, Wilhelm, Vorlesungen über Naturphilosophie, Leipzig 1902.
61. Petzoldt, Jos., Die Relativitätstheorie im erkenntnistheoretischen Zusammenhang des relativistischen Positivismus. Verh. der Dtsch. Physik. Gesellschaft XIV., Braunschweig 1912.
62. Pflüger, A., Das Einsteinsche Relativitätsprinzip, gemeinverständlich dargestellt, 3. Aufl., Bonn 1920.

63. Planck, Max, Das Prinzip der Erhaltung der Energie, Leipzig 1887.
64. „ „ Zur Dynamik bewegter Systeme. Annalen der Physik, 4. F., XXVI, 1 ff. (1908).
65. „ „ Bemerkungen zum Prinzip der Aktion und Reaktion in der allg. Dynamik, Physikal. Zeitschrift IX (1908).
66 „ „ Die Einheit des physikalischen Weltbildes, Leipzig 1909.
67. „ „ Die Stellung der neuen Physik zur mechanischen Weltanschauung. (Verh. der Ges. dtsch. Naturf. u. Ärzte in Königsberg 1910, Leipzig 1911, S. 58—75.)
68. „ „ Acht Vorlesungen über theoretische Physik, Leipzig 1910.
69. „ „ Zur Machschen Theorie der physikalischen Erkenntnis. Vierteljahresschr. für wissensch. Philos. 1910.
70. „ „ Neue Bahnen der physikalischen Erkenntnis (Rektoratsrede), Berlin 1913.
71. „ „ Das Wesen des Lichts, Vortrag, Berlin 1920.
72. Poincaré, Henri, La Science et l'hypothèse, Paris o. J.
73. „ „ Der Wert der Wissenschaft, dtsch. v. E. Weber, mit Anmerk. und Zusätzen von H. Weber, Berlin und Leipzig 1906.
74. „ „ Science et méthode, Paris 1908.
75. Poincaré, Lucien, Die moderne Physik, dtsch. von Brahn, Leipzig 1908.
76. Riehl, Al., Der philosophische Kritizismus und seine Bedeutung für die positive Wissenschaft I/II, Leipzig 1876—87.
77. Riemann, B., Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen (1854).
78. Righi, Die moderne Theorie der physikalischen Erscheinungen, dtsch. von Dessau, Leipzig 1908.
79. Schlick, Moritz, Raum und Zeit in der gegenwärtigen Physik, Berlin 1917.
80. „ „ Allgemeine Erkenntnislehre, Berlin 1918.
81. Sellien, Ewald, Die erkenntnistheoretische Bedeutung der Relativitätstheorie, Kieler Inaug.-Diss., Berlin 1919.
82. Streintz, H., Die physikalischen Grundlagen der Mechanik, Leipzig 1883.
83. Weyl, Hermann, Raum. Zeit. Materie. Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie, 3. Aufl., Berlin 1920.
84. „ „ Das Kontinuum. Kritische Untersuchungen über die Grundlagen der Analysis. Leipzig 1918.

Die Schrift von Dr. Hans Reichenbach über „Die Bedeutung der Relativitätstheorie für den physikalischen Erkenntnisbegriff" ist mir erst während der Drucklegung dieses Aufsatzes im Manuskript zugänglich geworden. Ich kann hier nur noch nachträglich auf diese gründliche und scharfsinnige Schrift hinweisen, die sich in ihrer methodischen Problemstellung vielfach mit dem vorstehenden Aufsatz berührt: ihren Ergebnissen vermag ich freilich, insbesondere betreffs des Verhältnisses der Relativitätstheorie zur Kantischen Erkenntniskritik, nicht durchweg beizustimmen.

HERMANN COHEN
SYSTEM DER PHILOSOPHIE

Erster Teil

LOGIK DER REINEN ERKENNTNIS

1914. Zweite verbesserte Auflage. Mit einem Porträt Cohens in Gravüre.
XXVIII, 612 S. Index hierzu von Dr. A. Görland.

Zweiter Teil

ETHIK DES REINEN WILLENS

1920. Dritte Auflage. XXIV, 672 S.

Dritter Teil

ÄSTHETIK DES REINEN GEFÜHLS

1912. Band I, XXV, 401 S., Band II, XV, 477 S.

KANTS
BEGRÜNDUNG DER ETHIK

NEBST IHREN ANWENDUNGEN AUF RECHT, RELIGION UND GESCHICHTE

Zweite, verbesserte und erweiterte Auflage
1910. XV, 557 Seiten.

KANTS
THEORIE DER ERFAHRUNG

Dritte Auflage 1918. XXV, 797 S.

DIE DRAMATISCHE IDEE IN MOZARTS OPERNTEXTEN

1915. 115 S. In Leinen gebunden.

Druck von W. W. (Ed.) Klambt, G. m. b. H., Berlin-Charlottenburg 4.

